

*Le Bio Indicateur Aurifere: Outil De Prediction De Gisement Et
Caracterisation De Sol. Effet De L'Or Sur La Banane Plantain,
L'avocatier Et La Tige De Riz Dans Le Fokontany Ambohitsara,
Commune Ikianjavato, District De Manajary- Madagascar*
*[The Gold Bio-Indicator: Deposit Prediction And Soil
Characterization Tool. Effect Of Gold On Plantain, Avocado
And Rice Stem In Ambohitsara Fokontany, Ikianjavato
Commune, Manajary-Madagascar District]*

Jean Roland RABEMANANTSOA¹, ANDRIANAIVO Lala², Jean Luc RASOANAIVO³, Huchard
RANDRIANIRAINY⁴, Achille RAVONINJATOVO⁵

^{1, 3, 4, 5}Département Energétique

Centre National de Recherches Industrielle et Technologique
Madagascar

²Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo
Madagascar

¹rolandjrabe@gmail.com

²aandrianaivoo@gmail.com

³jeanlucnj@gmail.com

⁴huchardpaul@gmail.com

⁵achillegc@yahoo.fr



Résumé – Madagascar est un pays riche en ressources minières. Les grandes sociétés sont les plus avantageuses à l'exploitation de ces gisements car elles ont les moyens les plus performants pour l'extraire. Pour le cas des ressources aurifères, les petits exploitants sont nombreux mais leur technique d'extraction est encore traditionnelle comme la bâlée qui est une méthode fatigante, hasardeuse et à faible rendement. Par contre, le bio indicateur aurifère, une nouvelle technique pratiquée par plusieurs pays et développée dans le cadre de ce travail de recherches est simple, facile à employer et avantageuse surtout pour déterminer et localiser rapidement le gisement aurifère. Tout le monde peut l'appliquer. La maîtrise de cette technologie permettra d'améliorer les conditions de vie de la population et par ricochet au développement local et évidemment dans pays tout entier.

C'est grâce à cette recherche qu'on a pu mettre en évidence l'effet aurifère sur le bananier plantain, l'avocatier et la tige de riz d'une rizière dénommée : Botely. La croissance du bananier, de l'avocatier et de la tige de riz est handicapée par l'effet de l'or dans l'échantillon de sol et ces végétaux ne peuvent plus pousser normalement et n'a pas donné de fruit sous l'effet de l'or dans le sol. Ce qui a permis de considérer ces trois végétaux à grain comme bios indicateurs aurifères dans le fokontany d'Ambohitsara de la commune d'Ikianjavato. cinq éléments chimiques accompagnent toujours l'or, ce sont : l'arsenic, le sélénium, l'antimoine, l'argent et le tellure. Le résultat d'analyse de l'échantillon de sol importé de la zone d'étude, c'est à dire sol pris au pied respectif du bananier plantain, de l'avocatier mort et dans la rizière Botely a prouvé l'existence de ces cinq éléments. Un autre essai d'expérimentation effectué au laboratoire du CNRIT sur les sols importés de la zone d'étude a prouvé que : le sol aurifère pris au pied du bananier nain contient de l'or et cet or contenu dans ce sol pénètre dans le bananier à travers ses racines pour retarder non seulement la croissance de la plante, mais aussi virer la couleur verte des feuilles de la plante en couleur jaune. Par rapport à un bananier témoin, celui qui a poussé avec le sol aurifère présente la caractéristique suivante après un an et demi de plantation : hauteur très petite (25 cm), largeur de feuille variant entre 10 et 11 cm, nombre de talles (6 au total, dont 3 petites et 3 grandes), diamètre tronc : 7 cm. En bref, le rapport entre le bananier témoin et celui qui a subi le test est presque triplé pour le cas du diamètre tronc et la largeur et longueur des feuilles. En ce qui concerne la hauteur des deux plantes, le témoin est 15 fois plus grand par rapport à l'autre.

Mots clés – Or, bio indicateur, plantes à graines, bananier plantain, avocatier, tige de riz, commune Ikianjavato, Mananjary

Abstract – Madagascar is a country rich in mineral resources. The large companies are the most advantageous to the exploitation of these deposits because they have the most efficient means to extract it. In the case of gold resources, there are many small-scale operators, but their extraction techniques are still traditional, such as the "bâtee" method, which is tiring, risky and has a low yield. On the other hand, the gold bio-indicator, a new technique practiced by several countries and developed within the framework of this research work, is simple, easy to use and advantageous, especially for determining and locating the gold deposit quickly. Anyone can apply it. The mastery of this technology will allow to improve the living conditions of the population and by ricochet to the local development and obviously in the whole country.

It is thanks to this research that we were able to highlight the gold effect on the plantain tree, the avocado tree and the rice stem of a rice field called: Botely. The growth of the banana, avocado and rice stems was handicapped by the effect of gold in the soil sample, and these plants could no longer grow normally and did not bear fruit under the effect of gold in the soil. This made it possible to consider these three grain plants as gold-bearing bioindicators in the fokontany of Ambohitsara in the commune of Ikianjavato. five chemical elements always accompany gold: arsenic, selenium, antimony, silver and tellurium. The result of analysis of the soil sample imported from the study area, i.e. soil taken from the foot of the plantain tree, the dead avocado tree and the Botely rice field respectively, proved the existence of these five elements. Another test carried out at the CNRIT laboratory on imported soils from the study area proved that: the gold soil taken from the foot of the dwarf banana tree contains gold and this gold contained in this soil penetrates into the banana tree through its roots to not only retard the growth of the plant, but also to turn the green color of the leaves of the plant into yellow. Compared to a control banana tree, the one grown with the gold soil has the following characteristics after one and a half years of planting: very small height (25 cm), leaf width varying between 10 and 11 cm, number of tillers (6 in total, of which 3 small and 3 large), trunk diameter: 7 cm. In short, the ratio between the control and the tested banana tree is almost tripled for the case of trunk diameter and leaf width and length. Regarding the height of the two plants, the control is 15 times taller than the other.

Keywords – Gold, bio indicator, seed plants, plantain, avocado, rice stem, commune Ikianjavato, Mananjary.

I. INTRODUCTION

A Madagascar, la loi sur les ressources minières, connu sous le nom de code minier, n'a pas encore été mise à jour jusqu'à ce jour. Rédigés en 1999, les contenus ne correspondent plus à la réalité et aux contextes actuels. De 2016 à 2018, la quantité d'or exportée est passée de 584 Kg à 3051 Kg selon les données du Bureau des cadastres miniers de Madagascar (BCMM). Autrement dit, le pays a quadruplé ou quintuplé le taux de son exportation en matière d'or, en l'espace de trois ans. Une hausse qui devrait affecter les recettes par le biais des redevances minières dans les caisses de l'Etat, qui est de l'ordre de 30 à 40 % des ressources financières de Madagascar. Il est néanmoins important de mentionner que l'Etat malgache perd 700 millions de dollars suite au développement de l'informel dans la filière. Ledit BCMM a recensé 500 000 orpailleurs dans tout Madagascar, mais seuls 3000 ont procédé à la régularisation de leurs situations en entrant dans le formel. Cette situation a créé des litiges entre les grandes sociétés minières et les orpailleurs traditionnels [1]. Ces derniers pratiquent l'exploitation aurifère traditionnelle par bâtee tandis que les grandes sociétés industrielles les méthodes modernes.

Ce travail de recherches a pour objet principal d'adopter une autre méthode de détection ou de localisation de gisement aurifère dénommé : « le bio indicateur ». Le bio indicateur est une méthode simple, facile à appliquer mais demande des

connaissances ou des bases de données sur le minerai, sa genèse, la structure géologique locale, son environnement, la structure de sol ainsi que des indices (caractères physico chimiques du sol, faunes, flores, etc.) permettant de confirmer l'existence ou non de minerai dans un endroit bien précis

Le présent article met en exergue les indices ou bio indicateurs permettant de confirmer/prouver l'existence de minerai dans le fokontany Ambohitsara, commune rurale Ikianjavato district de Mananjary. Des questions se posent entre autres :

- Quels sont les indices identifiés et inventoriés dans le fokontany d'Ambohitsara permettant de classer comme bio indicateur aurifère ?
- Quelles sont les caractères physico chimiques de ces sols aurifères où ont été identifiés les bio indicateurs inventoriés ?
- Peut-on caractériser ces minerais aurifères par la méthode d'analyse par XRF ?

Le présent manuscrit essaie d'apporter non seulement des informations sur la caractérisation de sol aurifère détecté mais aussi ses plantes bio indicatrices.

II. MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1. Zone d'études : Région Vatovavy Fitovinany [2], [3], [4], [5]

2.1.1. Généralités

Cette région aurifère est souvent repérée en littérature (Besairie, 1966) par la région Vohilava-Ampasary. Elle a été l'une des majeurs producteurs d'or à Madagascar.

2.1.2. Géologie et minéralisation

La région Vatovavy Fitovinany est soulignée par les formations du groupe de Mananjary, du système de Vohibory, constituées par des gneiss et de migmatites. Le granite monzonitique et biotitique de Befody constituent les formations intrusives dans les migmatites de Mananjary.

Dans cette région de Madagascar, le système de Vohibory est beaucoup plus complexe et il peut être classé en trois sections :

- Groupe de Maha à l'Est, constitué par du sericite et des schistes affectés par des zones tectonique avec des plis, de failles et des zones mylonitiques.
- Groupe de Vohilava au centre, caractérisé par des gneiss et des micaschistes
- Groupe d'Ifanadiana, formé par des migmatites très plissés.

La région est aussi marquée par des petites intrusions de roches ultramafiques.

Les minéralisations primaires en or sont géologiquement contrôlées et elles se trouvent sous le front migmatitique. Dans la région aurifère d'Ampasary-Sakaleona, la minéralisation est localisée dans des veines de quartz, dans le contact entre le gneiss et les ultrabasiques.

Dans le cas des rivières de Maha et Sahandrambo, les dépôts primaires et secondaire d'or apparaissent au niveau des zones faillées. Quelques dépôts d'or primaire se trouvent à 30 km de l'expression en surface du granite de Befody. L'un des caractéristiques de cette région est l'abondance de veines de quartz à sulfures. La minéralisation est constituée par de l'or, de la pyrite et du mispickel (arsenopyrite). La majeure proportion en or apparaît sous forme d'inclusion dans les sulfures. Les pépites sont rares dans cette région et de petites dimensions.

La région est plutôt remarquable par sa plus grande production en or. Celle-ci est presque fournie par les alluvions, surtout par des méthodes artisanales.

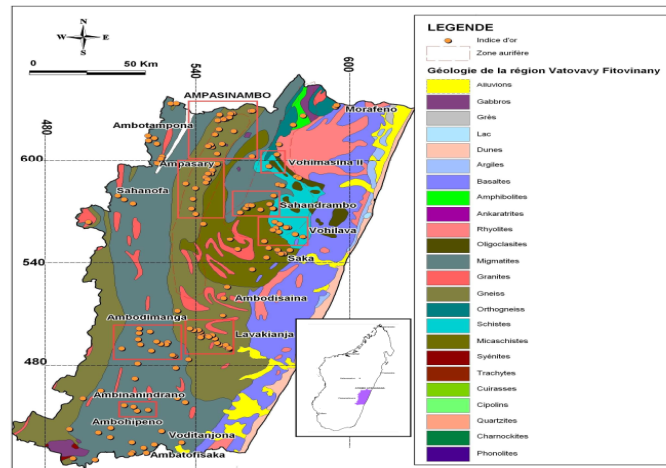


Figure 1 : Extrait de carte géologique de la région Vatovavy Fitovinany

2.1.3. Les gisements de la région Vatovavy Fitovinany

2.1.3.1. Ampasary

Le petit secteur de la rivière d'Ampasary, situé à 70 km au Nord-Ouest de Mananjary, est le second plus grand producteur d'or à Madagascar, après l'Andavakoera. Des importantes terrasses aurifères se sont développées dans les majeurs méandres. La zone aurifère s'étend au Nord avec le bassin de Sakaleona. Parmi les gisements primaires, situés sur la côte orientale d'Ampasary, citons: Amalakaza nord, Tobilava, Antanasy, Antanambao Est et Ambalavia-Ambatomainty. Ces gisements ont été exploités au niveau des veines de quartz à sulfure aurifère dans les amphibolites et dans les schistes à trémolite.

2.1.3.2. Sakaleona

C'est un secteur très large et constitué par des mines anciennes et récentes se trouvant le long de la bordure de différentes rivières. La géologie régionale est caractérisée par la dominance de gneiss, de schistes associés avec de la pegmatite et de veines de quartz. Elle est la même que pour Ampasary et toutes les minéralisations en or proviennent presque du contact entre le granite de Befody et les gneiss et micaschistes.

Le gisement secondaire de la zone est généralement formé par des colluvions et des latérites rouges, parfois avec présence de blocs d'amphibolite et de quartz. Il a été proposé que ce gisement secondaire soit de type « placer », ou plutôt « paleoplacer », mais il est à recommander de faire la datation de ces colluvions. Par ailleurs, le gisement primaire est relié

avec les gneiss présentant des veinules de quartz. Le secteur le plus producteur d'or dans la région de Sakaleona est celui de l'Ankerana, Antanambao et Androrangavola.

La rivière de Sakaleona et ses affluents (Sahanana, Andranomanjaka, Tsaravinany, Nandravaona, Tembina et Sahakoriana) (Besairie, 1966) sont les plus producteurs d'or dans la région de Vohilava-Ampasary.

D'après des études faites sur terrains récemment (2008), plusieurs anciennes mines d'or exploitées pendant les périodes coloniales ont été repérées :

- Angodongodona, limitée par les coordonnées (X= 545260, Y= 617107), est caractérisée géologiquement par des gneiss et migmatites altérés. La zone est surtout formée par des terrasses éluviales et faiblement minéralisées.
- Antanambao, située au Nord d'Angodongodona et limitée par les coordonnées (X= 550662, Y=617107). Des essais d'échantillonnages ont été faits sur les rivières d'Andranomanjaka, de Sandravaoka et sur l'ancienne mine qui est formée par des anciens puits et tranchée. Leurs résultats ont tous montré quelques grains d'or.
- Androrangavola, située à 9 km au Nord du village d'Antanambao et limitée par les coordonnées (X=551512, Y=622617). Ce secteur est le plus producteur de la région. Il est formé par de terrasse colluviale et de gisement primaire.

- Anivorano, localisée à 5 km au Nord du village d'Androrangavola et limitée par les coordonnées (X=553818, Y=625000). Elle est formée par l'association de conglomérat, de quartz et de latérite contenant des veinules de quartz.
- Ikolokala, située au Nord-Est du village d'Anivorano et limitée par les coordonnées (X=557962, Y=633692). Ce gisement est caractérisé par gneiss migmatitique altéré, associé avec des veinules de Quartz.
- Madiofasina, localisée à 5.5 km à l'Ouest du village d'Andranovakaona. Des affleurements de gneiss intrudés par du veine de quartz sont présentes et le contact métasomatique montre des sulfures.

2.1.3.3. Sahandriambo

Cette zone est située à 18 km au Nord-Est de Vohilava (X=568700, Y=574300). Elle est formée par des minéralisations primaires de veines de quartz aurifère altérées et souvent riches en or. Une mine a été ouverte pour exploiter les schistes à sericite, intrudés souvent par des veinules de quartz pegmatitique dans une zone mylonitique.

A Fotobato, situé à 15 km NNE du village de Vohipeno, il y a des lentilles de quartz avec des traces de sulfure. Une minéralisation à sulfure est localisée dans les veines près de la zone faillée d'Andranotonga, à 12 km au Nord de Vohilava. Des veines de quartz à biotite, tourmaline, pyrite et mispickel sont faiblement minéralisées en or et argent et elles se trouvent près de la chute de la rivière de Sahamatrana.

La rivière de Sahandriambo est certainement riche en or comme ses affluents, allant d'Ambodimanga.

2.1.3.4. Bebasy

Ce gisement est situé à 12 km au Sud du village de Soavina. Un filon dans les schistes à sericite a été exploité. Dans le même secteur, à l'Ouest du village d'Ambodilafa, il y a d'autres gisements primaires : Ambavalero et Ambohitsara, et aussi plusieurs alluvions aurifères particulièrement le long des affluents de Sahavato : Sahafandroana, Sakandrekata, Sakafotsy, Sahafanana et Ankelakambo.

2.1.3.5. Andrambo-Marointovo

La région d'Andrambo-Marointovo est située à mi-chemin entre Ambositra et Mananjary, à 40km SSW du village de Soavina. La formation est très latéralisée et constituée par du quartz interstratifié dans des gneiss micaschisteux, des micaschistes et schistes amphiboliques. Le gisement appartient surtout au type veinules interstratifiées, mais ces veinules se rejoignent parfois pour former un filon plus épais. Dans ce cas, la teneur en or est toujours plus faible. Les veines sont en général de direction N140. Les parties Sud des veines sont les plus riches et les plus étudiées.

2.1.3.6. Rivière de Maha

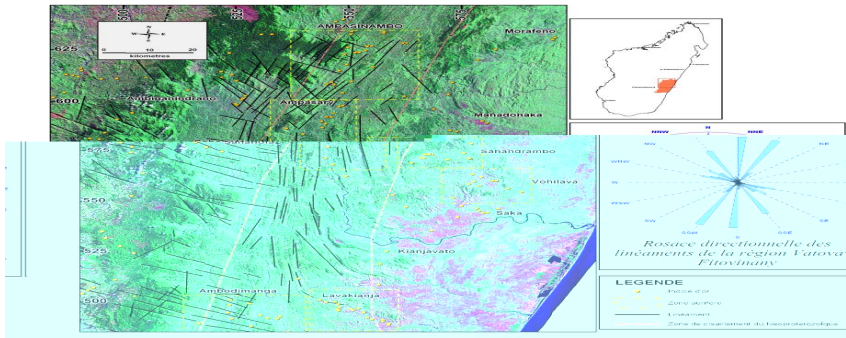
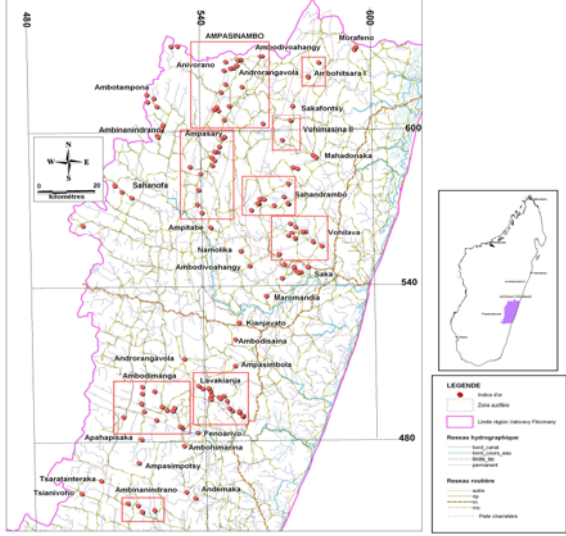
Plusieurs gisements primaires sont connus dans la vallée de la rivière de Maha.

- la mine d'Anajaridaina, située à l'Ouest du village de Morafeno et caractérisée par des zones riches en veines de quartz pegmatitique discontinues.
 - la mine de Manakana, localisée à 15 km à l'Ouest d'Anajaridaina. Elle est formée par des schistes riches en chlorite, constitués par de la pyrite, de la chalcopryrite, de rutile et de l'or.
 - les deux mines d'Ambia-Nord et Ambia-Sud, à 7 km au Nord-Ouest de Marovato ont été exploitées pendant les années 1930. La minéralisation est localisée dans des veines de quartz riche en sulfure, occasionnellement associés avec de la calcite et magnétite.
- Les gisements alluviaux de Maha se trouvent dans les terrasses et flats. Dans ces terrasses, des conglomérats d'épaisseur variable sont surmontés par des argiles latéritiques de 3 à 7m d'épaisseur.

2.1.3.7. Rivière de Saka

Plusieurs gisements primaires sont connus sur la vallée de la rivière de Saka. Elles sont formées par les mines de Namolika et Tsaramiadana qui sont constituées de veines de quartz aurifères. Les plus larges alluvions connus dans ce secteur sont : Andakatsiefo, Saka-Manama et Ambodiara.

- Andovoravo-Tsamiadana, situé 12 km NNW du village de Vohilava. Cette zone est formée par des gisements primaires où les veines de quartz aurifère sont constituées par des minéraux sulfureux avec pyrite, chalcopryrite, de la galène et de mispickel.



- Descente sur terrain au niveau de la zone d'études dans le district de Mananjary pour faire un diagnostic préalable sur la façon dont se présente le bio indicateur aurifère local d'une part et d'autre part collecter des échantillons de sol aurifère pour des essais d'expérimentation ;
- Rencontrer des personnes ressources disposant plus d'informations sur l'or d'une part et le bio indicateur aurifère d'autre part ;
- Faire des essais d'expérimentation sur le sol aurifère au laboratoire ;
- Planter des plantes à graines avec le sol aurifère pour voir de près l'effet du sol aurifère non seulement sur les graines mais aussi sur l'évolution de la hauteur de la plante ainsi que sur le rhizome et la surface de développement de la plante à graine.
- Traiter et analyser les données collectées ;
- Elaborer la rédaction du présent rapport

2.2.1. Caractérisation de sol par analyse physico chimique et par XRF

2.2.1.1. Caractérisation de sol par analyse physico chimique

Sept paramètres importants ont été déterminés pour caractériser le sol dans la zone d'étude où des échantillons ont été pris. Parmi ces paramètres, on peut citer respectivement : le Ph, la Matière Organique (MO), la teneur en carbone (C%), la teneur en Fer (Fe %), la capacité d'Echange cationique (CEC), la granulométrie et les bases Bases (Ca, Mg, Na, K).

2.2.1.2. Analyse chimique de sol par XRF

Le XRF est une technique d'analyse pour identifier et quantifier les éléments chimiques présents dans les échantillons. Il s'agit d'irradier les échantillons par le rayon X.

➤ Généralités sur les rayons X

Les rayons X sont des radiations électromagnétiques de haute fréquence et de courtes longueurs d'onde.

➤ Définition et production des Rayons X

Les rayons X sont des radiations électromagnétiques comprises entre 0,05 et 100Å. Ils sont définis par leur mode de production. Ils sont émis par le bombardement de la surface d'un solide par des rayons cathodiques qui sont des faisceaux d'électrons accélérés par des tensions variantes entre 103 et 106V.

Le domaine des rayons X est limité du côté des grandes longueurs d'onde, car l'absorption des rayons X par la matière se fait proportionnellement à la longueur d'onde. Ainsi, les rayons mous deviennent très difficiles à utiliser et à détecter quand la longueur d'onde croît.

Du côté des petites longueurs d'onde, des sources à très haute tension deviennent nécessaires à la production des rayons X appelés rayons durs. Le domaine des rayons X recouvre celui des rayons gamma, qui sont des radiations électromagnétiques émises par certains atomes radioactifs. Il y a une grande différence dans la production des rayons gamma et des rayons X. L'émission des rayons gamma est faite depuis le noyau de l'atome tandis que les rayons X viennent des processus qui se produisent dans les orbites des électrons. Deux sources de rayons X en spectrométrie de fluorescence X sont pratiquement utilisées.

- Les tubes à rayons X qui utilisent le bombardement électronique.
- Les éléments radioactifs qui utilisent les rayons gamma émis par les noyaux de ces éléments.

Il existe d'autres moyens de production, comme le rayonnement synchrotron (accélérateurs de particules) ou l'émission X induite par le proton.

➤ Tubes à rayons X

La source usuelle des rayons X est le tube de *Coolidge*. C'est un tube à vide comportant deux électrodes :

- Une cathode émettrice, des négatons sont émis par un filament de tungstène chauffé par courant, ils sont ensuite accélérés par une tension élevée et focalisés sur une cible métallique (anode) refroidie par eau.
- Une anode, ou anticathode, qui est une masse métallique portée à un potentiel positif.

Le tube à rayons X représenté par la figure 4 comporte également une fenêtre de nature telle qu'elle n'absorbe pas trop les rayons X émis.

Sous l'effet du bombardement d'électrons, les atomes de l'anticathode vont être excités puis reviennent à leur état fondamental en réémettant un rayonnement de photon X. Ce rayonnement correspond à l'excédent d'énergie (appelé rayons X).

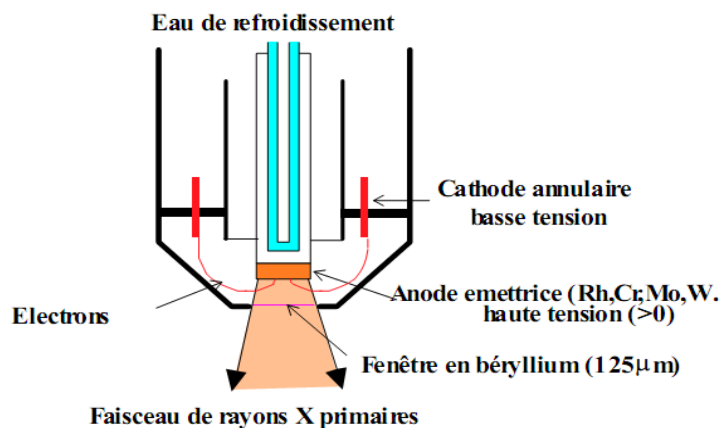


Figure 4 : Tube à rayon X

Deux phénomènes bien distincts sont à l'origine de la nature des rayons X produits :

- **L'émission du spectre continu** : le spectre d'émission est constitué par un ensemble de radiations dont l'intensité varie d'une manière continue avec la longueur d'onde.
- **L'émission des raies caractéristiques** : au spectre continu se superpose un spectre de raies dont les longueurs d'ondes, indépendantes des conditions de fonctionnement du tube et ne dépendent que de la nature de l'anticathode.

➤ Spectre continu

Le spectre continu résulte de la perte d'énergie des électrons entrants en collision avec les électrons faiblement liés de la cible. Le fond continu présente les caractéristiques suivantes :

- Il apparait quelle que soit la différence de potentiel à l'intérieur du tube.
- Le spectre continu a une limite inférieure en longueur d'onde. Le spectre démarre brutalement à cette longueur d'onde qui ne dépend pas du matériau constituant l'anode mais qui suit la relation de *Duane-Hunt* :

$$h \nu_0 = \frac{hc}{\lambda_0} \quad (1.01)$$

Avec

$h = 6,626.10^{-34} \text{ J.s}^{-1}$: constante universelle de Planck

$c = 3.108 \text{ m.s}^{-1}$: vitesse de la lumière

λ_0 : longueur d'onde associée à la fréquence ν_0

$h \nu_0$: Energie du photon exprimée en [eV]

La relation (1.01) montre que l'énergie des radiations dans les spectres d'émission ne peut jamais être supérieure à l'énergie cinétique des électrons frappant la cible. Elle peut s'écrire sous la forme

$$E = h \nu = \frac{12,398}{\lambda} \quad (1.02)$$

Cette relation est valable si l'énergie E est exprimée en électron-volt [eV] et la longueur d'onde λ en [Å].

➤ Sources radioactives

Lorsqu'on a besoin d'une source monochromatique, il faut utiliser des radio-isotopes à cause de leur stabilité et leur petite taille. Certains atomes radioactifs sont des sources radioactives monochromatiques. Ces dernières sont moins intenses que les émissions caractéristiques d'un tube à rayons X. Le caractère monochromatique de la plupart des sources radioactives les rend avantageuses pour l'excitation sélective de certains éléments.

Souvent, la technique de la fluorescence X secondaire est utilisée avec de telles sources. Cette technique consiste à provoquer l'émission X d'une cible soumise aux rayonnements gamma de la source radioactive. Le rayonnement caractéristique des atomes de la cible provoque la fluorescence X de l'échantillon. Le choix des sources radioactives est fonction de l'énergie des photons $h\nu$ émise et de la demi-période du radioélément. Les différentes sources les plus utilisées sont représentées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Quelques sources radioactives avec leur période de demi-vie

Sources	Période	Mode de désintégration
²⁴¹ Am	470 ans	Emission α
¹⁰⁹ Cd ⁴⁸	455 jours	C.E.O
⁵⁵ Fe ²⁶	2,7 ans	C.E.O

➤ Propriétés des rayons X

Les rayons X sont des ondes électromagnétiques. Il incarne la dualité onde-corpuscule. Ses longueurs d'onde varient de 10-5 à 100 Å.

Par ses propriétés corpusculaires, il y a des phénomènes d'absorption photoélectrique, de diffusion incohérente (modification de longueur d'onde), d'ionisation des gaz, de production de scintillation.

Par ses propriétés ondulatoires, il y a une vitesse de propagation : la diffusion, la réflexion, la diffraction, la polarisation et la diffusion cohérente sont considérables.

➤ Interactions des rayons X avec la matière

Les interactions des rayons X avec la matière sont complexes. Lorsqu'un faisceau de rayons X pénètre dans un milieu matérialisé, une diminution progressive de son intensité (ou son énergie) est constatée. Cette diminution est due à l'interaction des rayons X (photon) avec la matière (négaton). L'énergie perdue se retrouve sous deux formes :

- une partie de l'énergie est absorbée par la matière (milieu)
- l'autre partie est dispersée.

La figure 2 montre un schéma simplifié de l'interaction de rayons X avec la matière.

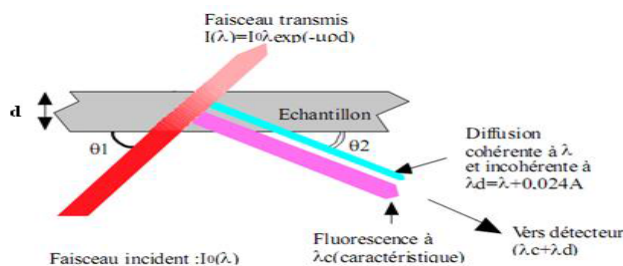


Figure 5 : Interaction des rayons X avec la matière

Dans cette figure, « d » : représente l'épaisseur de l'échantillon.

Lorsqu'un faisceau de rayons X traverse une matière d'épaisseur : x, de masse spécifique : ρ, d'intensité incidente : I₀, subit une atténuation suivant la loi de Beer-Lambert:

$$\frac{dI}{I} = -\mu dx \quad (1.03)$$

- $\mu \cdot dx$ représente l'atténuation du faisceau à travers une épaisseur dx ;
- μ est le coefficient d'absorption linéique ;
- le signe moins (-) indique que l'intensité est toujours décroissante en traversant la matière.

La figure 6 illustre le mécanisme simplifié de la traversée d'un faisceau de rayons X dans la matière.

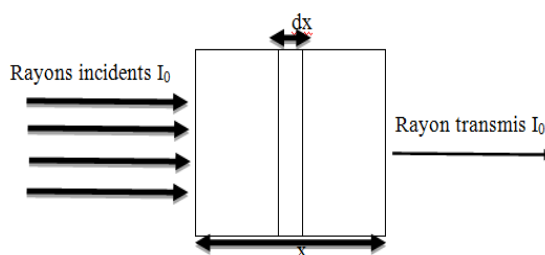


Figure 6 : Mécanisme simplifié de la traversée d'un faisceau de rayons X dans la matière

L'intégration de l'équation (1.03) nous permet d'obtenir l'intensité du rayon transmis.

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (1.04)$$

où I₀ est l'intensité incidente tandis que I l'intensité transmise

A partir de l'équation (1.04), les quatre types de coefficients d'absorptions ou coefficients d'atténuations sont obtenus.

- **Coefficient d'absorption linéaire μ**

$$\mu = -\frac{1}{x} \ln\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad (1.05)$$

où : μ est exprimé en $[\text{cm}^{-1}]$

- **Coefficient d'absorption massique μ_m**

(1.06)

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho}$$

Ce coefficient d'absorption est exprimé en termes de masse, $[\text{cm}^2.\text{g}^{-1}]$

- **Coefficient d'absorption atomique μ_A**

C'est l'absorption par atome par unité de surface, donnée par l'équation (1.07)

(1.07)

$$\mu_A = \frac{\mu}{\rho} \cdot \frac{A}{N} = \mu_m \cdot \frac{A}{N}$$

- **Coefficient d'absorption molaire μ_{mol}**

C'est l'absorption par mole par unité de surface.

(1.08)

$$\mu_A = \frac{\mu}{\rho} \cdot A$$

Où μ_{mol} est exprimé en $[\text{cm}^2.\text{mol}^{-1}]$

L'équation (1.04) peut s'écrire de la façon suivante :

(1.09)

$$I = I_0 e^{-\frac{\mu x}{\rho} \cdot \rho}$$

- x : est la densité superficielle de la matière en $[\text{g. cm}^{-2}]$;
- ρ indique la densité volumique en $[\text{g. cm}^{-3}]$;
- x représente la position de l'élément j dans l'échantillon en $[\text{cm}]$.

Les coefficients μ et μ_m sont des coefficients d'absorption totale et sont également les résultats des trois phénomènes ayant chacun leurs propres coefficients d'absorption linéaire et massique. L'expression mathématique ces coefficients peut s'écrire :

$$\mu = \tau + \sigma + \pi \quad (1.10)$$

telle que : τ est la vraie absorption ou l'absorption photoélectrique ;

σ : est le coefficient de diffusion qui se traduit par une déviation des rayons X ;

π : indique le coefficient de production de paires.

En traversant la matière, les rayons X produisent le pair $e^+ + e^-$ qui est une réaction à haute énergie.

L'absorption des rayons X par la matière conduit à trois phénomènes principaux.

- L'effet photoélectrique
- La diffusion Compton
- La production de paires

Il y a une création de paires lorsque l'énergie du photon incident $h\nu$ est supérieure à l'énergie au repos du positon et du négaton égale à 1,022 keV. Cette création de paires est aussi appelée l'effet de matérialisation.

2.2.2. Essais d'expérimentation de croissance de jeunes plantes de bananier plantain dans le laboratoire du CNRIT

Pour déterminer l'effet de sol aurifère sur la croissance du bananier plantain, deux échantillons de sol de 50 kg chacun (l'un pris sur le sol aurifère au pied du bananier plantain, l'autre pris au pied d'un autre bananier qui pousse normalement et non loin du premier et dans la zone d'étude). Deux jeunes plantes de bananier plantain ont été plantées dans le terrain d'expérimentation du CNRIT à Antananarivo. Trois paramètres de croissance ont été testés pour détecter l'effet de l'or sur le bananier plantain, ce sont : la hauteur du tige, le nombre de feuilles, la couleur verdoyante des feuilles et la longueur et largeur des feuilles. Le suivi de cette croissance a duré un an et demi.

III. RÉSULTATS

3.1. Les bios indicateurs identifiés avec leur coordonnée GPS respective

La descente sur terrain dans le fokontany Ambohitsara, commune rurale d'Ikanjavato, district de Mananjary région Vatovavy Fitovinany a permis d'identifier trois (3) bios indicateurs aurifères : le bananier nain, l'avocatier mort, la rizière (non productive) Botely et de prendre leur coordonnée GPS.

3.1.1. Premier bio indicateur : bananier nain

La descente auprès du gisement aurifère dénommé clarel situé à Ambohitsara disposant les coordonnées GPS suivantes :

- Altitude : 198 m,
- S : 21° 21 mn 54,57 s
- Est : 47° 49 mn 36,44 s,

a permis de constater que le bananier planté sur ce sol il y a trois ans, n'arrive pas à pousser voire produire des bananes correctement. Sa taille est très petite (banane nain) par rapport aux autres bananiers qui poussent aux alentours de ce site.



Photo 1 : Bananier nain à fruit très petit

Le terrain où pousse ce bananier est un terrain où les exploitants aurifères y ont déjà cherchés de l'or et ont déjà eu des résultats. On a découvert de l'or dans le conglomérat avec de bloc arrondi, profondeur 4 m.

Plusieurs plantes y poussent telles que le jacquier le sapin, le litchi, l'ananas, l'eucalyptus, mais ce bananier n'a pas eu non seulement le fruit attendu depuis **trois ans** mais aussi sa hauteur (très petite) par rapport à un bananier normal,

Des échantillons de sol y ont été pris pour être analysé au laboratoire pour caractériser li sol.

3.1.2. Second bio indicateur : l'avocatier mort

Dans le même fokontany d'Ambohitsara, un avocatier meurt par rapport à d'autres avocatiers voisins qui poussent très bien à son côté. Ce terrain où l'avocatier mort est un terrain aurifère où la population locale a déjà obtenu de l'or. Donc, l'avocatier ne peut pas pousser avec un terrain aurifère.

Cet avocatier se trouve à la coordonnée GPS suivante :

- Altitude : 161 m
- Est : 47° 49' 07' 88
- Sud : 21° 22' 08' 87



Avocatier mort

Photo 2 : Avocatier

3.1.3. Troisième bio indicateur : la tige de riz de la rizière (non productive) Botely

Une rizière dans le fokontany Ambohitsara dénommée « Botely » n'arrive plus à produire du riz. C'est un terrain aurifère où des exploitants y ont déjà extraits de l'or et ont trouvé. La production riziculture est très mauvaise et sans graine. Le propriétaire a décidé de ne plus y planter du riz. Les coordonnées GPS de cette rizière Botely sont :

- Altitude : 165 m
- Est : 47° 49' 10'.80
- Sud : 21° 22' 09' 74'



Rizière productive

Rizière non productive

Photo 3 : Rizière Botely

3.2. Résultat de caractérisation du sol au pied de ces plantes bios indicatrices

3.2.1. Caractérisation de sol au pied du bananier de coordonnée GPS (Altitude : 198 m, S : 21° 21 mn 54,57 s ; Est : 47° 49 mn 36,44 s)

Le tableau 1 récapitule le résultat d'analyse de sol pris au pied du bananier avec les coordonnées GPS (Altitude : 198 m, S : 21° 21 mn 54,57 s ; Est : 47° 49 mn 36,44 s) et d'un autre sol pris auprès d'un autre bananier qui pousse normalement à côté du bananier nain. Ce tableau présente aussi une strate de sol supérieure sans or.

Tableau 1 : Résultat d'analyse de sol pris au pied du bananier

sigle	pH (eau)	C %	M.O %	Bases (méq/100g)				Fe (ppm)	CEC meq/100g	Granulométrie %		
				Ca	Mg	Na	K			Argile	Limon	sable
A : Sol pris au pied du bananier nain	5,56	2,14	3,68	1,90	2,08	0,089	0,264	5,4	3,4	7	7	86
	F.A	Riche	Riche	Pauvre	Riche	T.P	Moyen		T.F			
B : Sol pris à un bananier normal (pousse à côté du bananier nain)	4,38	4,74	8,16	1,35	1,05	0,174	0,369	6,2	1,9	5	1	94
	E.A	Tres Riche	T.R	Pauvre	Moyen	Pauvre	Moyen		T.F			
Strate supérieure sans or.	5,40	0,24	0,413	0,158	0,158	0,038	0,017	2,5	1,9	7	1	92
	F.A	T.P	T.P	T.P	T.P	T.P	T.P		T.P			

Abréviations :

F.A : Fortement Acide - E.A : Extrêmement Acide - T.F.A : Très Fortement Acide - T.P : Très Pauvre -T.R : Très Riche - T.F : Trop Faible

Ce qui différencie le sol A et B, c'est la granulométrie. Dans ce cadre, c'est le sol A qui est meilleur du point de vue culture par rapport au sol B puisque le sol A dispose une faible teneur en sable et une forte teneur en Argile par rapport au sol B. En tenant compte de cette situation, il n'y a pas de raison que le bananier ne pousse pas correctement. Quelle est donc la cause de ce petit caractère (nain) et ne produit pas de fruit : banane ?

La strate supérieure sans or est un sol témoignant l'inexistence de l'or par la valeur de ses caractères physico chimiques qui sont très faibles sauf le ph de son sol qui est intermédiaire entre le ph du sol nain et celui où pousse le bananier normal.

3.2.2. Caractérisation de sol au pied de l'avocatier de coordonnées GPS (Altitude : 161 m ; Est : 47° 49' 07' 88 ; Sud : 21° 22' 08' 87)

Le tableau 2 récapitule la valeur des caractères physico chimiques du sol pris au pied de l'avocatier mort et celui d'un avocatier qui pousse normalement juste tout près de l'avocatier mort.

Tableau 2 : Résultat d'analyse de sol pris au pied de l'avocatier

sigle	pH (eau)	C %	M.O %	Bases (méq/100g)				Fe (ppm)	CEC meq/100 g	Granulométrie %		
				Ca	Mg	Na	K			Argil e	Limo n	sabl e
C : Avocatier (mort) ne peut plus produire de grain	4,58	3,87	6,66	1,50	1,92	0,103	0,0400	4,1	3,7	5	5	90
	T.FA	Très Riche	T.R	Pauvre	Riche	Pauvre	Riche		T.P			
D: Avocatier vivant	4,57	1,01	1,74	0,195	0,458	0,083	0,063	1,3	1,9	7	3	90

	T.FA	Moyen	Moyen	T.P	Pauvre	T.P	T.P		T.F	
--	------	-------	-------	-----	--------	-----	-----	--	-----	--

Abréviations :

F.A : Fortement Acide - E.A : Extrêmement Acide - T.F.A : Très Fortement Acide - T.P : Très Pauvre -T.R : Très Riche - T.F : Trop Faible

En comparant la valeur des caractères physico chimiques du sol pris au pied de l'avocatier mort et vivant, leur différence réside un peu sur la teneur en Argile et en limon mais chacun d'eux possède la même teneur en sable. Selon ces valeurs, il n'y a pas de raison où l'avocatier meurt. Est-ce vraiment la présence de l'or dans le sol où l'avocatier meurt ou autre chose ? Il faut passer à d'autre analyse de minerais contenus dans les racines de l'avocatier qui ne vit plus. De plus, le sol où l'avocatier meurt a une teneur élevée en Matière organique, ce qui lui permet de pousser correctement mais ce n'est pas le cas car il ne peut plus pousser.

3.2.3.Caractérisation de sol de la rizière Betely de coordonnées GPS (Altitude : 165 m ; Est : 47° 49' 10'.80 ; Sud : 21° 22' 09' 74')

Le tableau 3 présente la valeur des caractères physico chimiques des sols pris dans la rizière où rien ne pousse plus et le sol près de cette rizière où l'on trouve du riz qui pousse.

Tableau 3 : Résultat d'analyse de sol de la rizière Botely

sigle	Ph (eau)	C %	M.O %	Bases (méq/100g)				Fe (pp m)	CEC meq/ 100g	Granulométrie %		
				Ca	Mg	Na	K			Argile	Limon	sable
E: Rizière Botely (Non productive) : tige de riz ne peut pas pousser	5,04	0,081	0,139	0,315	1,00	0,102	0,050	5,6	4,6	5	3	92
	T.FA	T.P	T.P	T.P	Moyen	Pauvre	T.P		T.F			
F: Rizière (encore productive Botely)	5,17	1,53	2,63	1,00	1,42	0,133	0,226	3,1	1,6	5	9	86
	F.A	Moyen	Moyen	Pauvre	Moyen	Moyen	Moyen		T.P			

Abréviations :

F.A : Fortement Acide - E.A : Extrêmement Acide - T.F.A : Très Fortement Acide - T.P : Très Pauvre -T.R : Très Riche - T.F : Trop Faible

En comparant la valeur des caractères physico chimiques de sol pris dans rizière non productive et productive, on peut dire que du point de vue granulométrique, la rizière non productive est logique compte tenu de la forte teneur en sable (92%) par rapport à 86% pour le sol de la rizière encore fonctionnelle. Du point de vue Matière organique, pour la rizière non productive, son MO est très pauvre, donc c'est aussi logique que cette rizière ne produit plus. Il en est de même pour son ph trop Acide. Ce qui justifie la non productivité de cette rizière. Mais la question qui se pose : le résultat de la valeur de ces caractères physico chimiques du sol de cette rizière non productive est-elle l'effet de la présence de l'or dans ce sol ?

3.3. Résultats de caractérisation par analyse XRF de sol pris au pied du bananier nain, au pied de l'avocatier mort et dans la rizière non productive Botely

3.3.1. Résultat de caractérisation du sol au pied du bananier nain

Les résultats des analyses en turbo Quante-pellets powders à partir des échantillons de sol pris au pied du bananier nain ont montré l'existence de ces cinq éléments qui accompagnent toujours l'or. Ce sont : l'arsenic, du sélénium, de l'antimoine, de l'argent ou du tellure [5]

Tableau 4 : Résultat récapitulatif de caractérisation sol au pied du bananier nain

Eléments			Concentration (en mg / Kg)	Eléments			Concentration (en mg / Kg)
Z	Sym	Noms		Z	Sym	Noms	
11	Na	Sodium	0.895	40	Zr	Zirconium	381.2
12	Mg	Magnesium	1.823	41	Nb	Niobium	25.3
13	Al	Aluminum	8.575	42	Mo	Molybdenum	< 1.0
14	Si	Silicon	35.79	47	Ag	Silver	< 2.0
15	P	Phosphorus	0.05948	48	Cd	Cadmium	3.6
16	S	Sulfur	114.0	50	Sn	Tin	< 3.0
17	Cl	Chlorine	18.2±0.3	51	Sb	Antimony	< 3.0
18	K	Potassium	0.7925	52	Te	Tellurium	< 3.0
20	Ca	Calcium	0.9624	53	I	Iodine	< 3.0
22	Ti	Titanium	1.351	55	Cs	Cesium	< 4.0
23	V	Vanadium	152.6	56	Ba	Barium	173.3
24	Cr	Chromium	65.4	57	La	Lanthanum	78
25	Mn	Manganese	749.	58	Ce	Cerium	158
26	Fe	Iron	5.263	59	Pr	Praseodymium	7.1
27	Co	Cobalt	10.1	60	Nd	Neodymium	36.6
28	Ni	Nickel	34.8	68	Er	Erbium	10
29	Cu	Copper	42.9	70	Yb	Ytterbium	4.4
30	Zn	Zinc	103.6	72	Hf	Hafnium	10.0
31	Ga	Gallium	15.9	73	Ta	Tantalum	< 1.0
32	Ge	Germanium	1.5	74	W	Tungsten	< 1.0
33	As	Arsenic	< 0.5	80	Hg	Mercury	< 1.0
34	Se	Selenium	< 0.50	81	Tl	Thallium	< 1.0
35	Br	Bromine	< 0.50	82	Pb	Lead	13.1
37	Rb	Rubidium	30.20	83	Bi	Bismuth	< 1.0
38	Sr	Strontium	41.4	90	Th	Thorium	18.2
39	Y	Yttrium	425.1	92	U	Uranium	2.1

Ce tableau confirme l'existence de l'or dans ces échantillons puisque les cinq éléments (arsenic, sélénium, antimoine, argent et tellure) accompagnant toujours l'or dans la nature sont détectés dans ce résultat d'analyse par la méthode Turbo Quante-pellets powders.

3.3.2. Résultat de caractérisation du sol au pied de l'avocatier mort

Les résultats des analyses par turbo Quante-pellets powders à partir des échantillons de sol pris au pied de l'avocatier ont montré l'existence de ces cinq éléments qui accompagnent toujours l'or. Ce sont : l'arsenic, du sélénium, de l'antimoine, de l'argent et du tellure [5]

Tableau 5 : Résultat récapitulatif de caractérisation sol au pied de l'avocatier

Eléments			Concentration (en mg / Kg)	Eléments			Concentration (en mg / Kg)
Z	Sym	Noms		Z	Sym	Noms	
11	Na	Sodium	0.096	40	Zr	Zirconium	92.5
12	Mg	Magnesium	0.0522	41	Nb	Niobium	6.2
13	Al	Aluminium	5.836	42	Mo	Molybdenum	3.1
14	Si	Silicon	0.096	47	Ag	Silver	< 2.0
15	P	Phosphorus	0.0522	48	Cd	Cadmium	3.1
16	S	Sulfur	5.836	50	Sn	Tin	< 3.0
17	Cl	Chlorine	19.12	51	Sb	Antimony	< 3.0
18	K	Potassium	0.1270	52	Te	Tellurium	< 3.0
20	Ca	Calcium	335.8	53	I	Iodine	4.6
22	Ti	Titanium	27.6	55	Cs	Cesium	< 4.0
23	V	Vanadium	0.01929	56	Ba	Barium	13.4
24	Cr	Chromium	0.07948	57	La	Lanthanum	< 2.0
25	Mn	Manganese	0.3375	58	Ce	Cerium	94
26	Fe	Iron	215.8	59	Pr	Praseodymium	10.8
27	Co	Cobalt	217.9	60	Nd	Neodymium	16.7
28	Ni	Nickel	188.9	68	Er	Erbium	< 5.1
29	Cu	Copper	26.39	70	Yb	Ytterbium	7.6
30	Zn	Zinc	13.9	72	Hf	Hafnium	11.7
31	Ga	Gallium	9.3	73	Ta	Tantalum	1.1
32	Ge	Germanium	16.4	74	W	Tungsten	< 1.0
33	As	Arsenic	11.2	80	Hg	Mercury	< 1.0
34	Se	Selenium	4.8	81	Tl	Thallium	< 1.0
35	Br	Bromine	< 0.5	82	Pb	Lead	31.0
37	Rb	Rubidium	< 0.5	83	Bi	Bismuth	< 1.0
38	Sr	Strontium	11.5	90	Th	Thorium	9.2
39	Y	Yttrium	5.4	92	U	Uranium	2.0

Ce tableau confirme l'existence de l'or dans ces échantillons puisque les cinq éléments (arsenic, sélénium, antimoine, argent et tellure) accompagnant toujours l'or dans la nature sont détectés dans ce résultat d'analyse par la méthode Turbo Quante-pellets powders.

3.3.3. Résultat de caractérisation du sol dans la rizière non productive de Botely

Les résultats des analyses par turbo Quante-pellets powders à partir des échantillons de sol dans la rizière non productive de Botely ont montré l'existence de ces cinq éléments qui accompagnent toujours l'or. Ce sont : l'arsenic, du sélénium, de l'antimoine, de l'argent et du tellure [5].

Tableau 6 : Résultat récapitulatif de caractérisation sol dans la rizière non productive de Botely

Eléments			Concentration (en mg / Kg)	Eléments			Concentration (en mg / Kg)
Z	Sym	Noms		Z	Sym	Noms	
11	Na	Sodium	0.898	40	Zr	Zirconium	348.1
12	Mg	Magnesium	0.6767	41	Nb	Niobium	62.3
13	Al	Aluminum	12.10	42	Mo	Molybdenum	< 1.0
14	Si	Silicon	25.47	47	Ag	Silver	< 2.0
15	P	Phosphorus	0.1012	48	Cd	Cadmium	3.0
16	S	Sulfur	13.1	50	Sn	Tin	3.8
17	Cl	Chlorine	30.5	51	Sb	Antimony	< 3.0
18	K	Potassium	0.8901	52	Te	Tellurium	3.8
20	Ca	Calcium	1.408	53	I	Iodine	< 3.0
22	Ti	Titanium	2.222	55	Cs	Cesium	< 4.0
23	V	Vanadium	304.4	56	Ba	Barium	548.0
24	Cr	Chromium	48.0	57	La	Lanthanum	< 2.0
25	Mn	Manganese	856.5	58	Ce	Cerium	91
26	Fe	Iron	5.495	59	Pr	Praseodymium	8.9
27	Co	Cobalt	22.6	60	Nd	Neodymium	30.0
28	Ni	Nickel	87.4	68	Er	Erbium	14
29	Cu	Copper	37.6	70	Yb	Ytterbium	4.9
30	Zn	Zinc	100.0	72	Hf	Hafnium	8.4
31	Ga	Gallium	25.5	73	Ta	Tantalum	1.2
32	Ge	Germanium	2.2	74	W	Tungsten	5.0
33	As	Arsenic	< 0.5	80	Hg	Mercury	< 1.0
34	Se	Selenium	< 0.5	81	Tl	Thallium	< 1.0
35	Br	Bromine	< 0.5	82	Pb	Lead	9.6
37	Rb	Rubidium	25.9	83	Bi	Bismuth	< 1.0
38	Sr	Strontium	99.7	90	Th	Thorium	9.6
39	Y	Yttrium	476.0	92	U	Uranium	2.7

Ce tableau confirme l'existence des cinq minéraux accompagnants toujours l'or. Ce qui montre que l'échantillon de sol pris dans la rizière non productive Botely contient de l'or.

3.4. Résultat des essais de plantation de banane plantain avec le sol aurifère importé du site d'étude

La photo 4 a et b : présente l'évolution de croissance de jeunes plantes de bananier plantains cultivés avec sol aurifère (pour photo a) et sol normale (pour photo b) avec une mise en évidence de leur différence de taille.

a) : jeune bananier avec sol aurifère b) : différence de croissance des deux jeunes plantes

Photo 4 : faible croissance (bananier avec sol aurifère) par rapport bananier avec sol normal

Ces deux photos montrent l'effet du sol aurifère sur la croissance du jeune bananier

IV. DISCUSSIONS

Compte tenu des résultats issus de ce travail de recherches, les questions suivantes méritent une attention particulière entre autres :

- Quels sont les indices identifiés et inventoriés dans le fokontany d'Ambohitsara permettant de classer comme bio indicateur aurifère ?;
- Quelles sont les caractères physico chimiques de ces sols aurifères où ont été identifiés les bio indicateurs inventoriés ?;
- Peut-on caractériser ces minerais aurifères par la méthode d'analyse par XRF ?

Le présent article essaie de répondre les questions posées à travers la descente in situ dans le fokontany Ambohitsara, commune d'Ikianjavato, district de Mananjary permettant de voir la réalité sur place sur ces bios indicateurs. Trois bios indicateurs y ont été enregistrés : le bananier nain, l'avocatier qui ne produit plus de fruit et la rizière Botely qui a perdu son caractère de rizière. Ces critères inventoriés permettent-ils de les considérer comme bio indicateur ? Selon les résultats d'analyse de caractérisation des échantillons de sol pris sous ses bios indicateurs, on peut confirmer que les cinq éléments accompagnant toujours l'or y sont présents, ce qui prouve que ces végétaux sont vraiment des bios indicateurs aurifères.

Les échantillons de sol analysés ont montré que : leur granulométrie est presque identique à forte teneur en sable ; ce qui est prouvé par une faible capacité d'échange cationique et faible teneur en matière organique.

V. CONCLUSION

Le présent travail de recherches est une contribution à la recherche d'une nouvelle technique de prospection /détection de gisement aurifère afin de faciliter les travaux des petits exploitants miniers dans l'optique de ne plus considérer que le métier d'exploitant minier est un métier dur, hasardeux et non rentable. Ce travail a permis de confirmer que l'or dans le sol est absorbé par la racine de la banane et transféré vers les feuilles vertes qui virent automatiquement en jaune une fois que l'or sous-forme de trace est transmis vers les feuilles.

Le résultat issu de cette recherche a montré que le bio indicateur inventorié est un outil non seulement de prédiction de gisement mais aussi de caractérisation de sol aurifère.

Le résultat d'analyse de caractère physico chimique a montré que le sol aurifère dispose d'une petite capacité d'échange cationique (CEC) qui est révélatrice d'une présence élevée de sable, d'une **faible teneur en matière organique** et d'une **faible capacité de rétention d'eau**.

RÉFÉRENCES

- [1] (<https://hakilitimes.com/exploitation-aurifere-a-madagascar-le-grand-desordre/>)
- [2] Report on a field visit in the Sakaleona area, Juillet 2008, AZE document, 54, pp **3-9**.
- [3] Richard HERRINGTON, Chris STANLEY, Robert SYMES, 1999, Gold, 64, pp 2-30.
- [4] Sam Yonino Naita SAM-SAM, 2009, Approche sur la genèse de l'or de la région de Vatovavy Fitovinany à partir des données géochimiques et morphoscopiques, Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur en Géologie, Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, pp 10 -29
- [5] <https://www.cairn.info/revue-realites-industrielles-2018-4-page-5.htm>