Revue des Sciences, de Technologies et de l'Environnement

EXPLORATION DES RICHESSES MINIERES ASSOCIEES AUX PLACERS CÔTIERS DE LA RÉGION ANALANJIROFO, EST DE MADAGASCAR

ARISTARQUE L. B. F. [(1)], RAMANIVOSOA B. V. L. [(1, 2)], RAKOTOSOLOFO N. A. [(1, 2)]
(1) Ecole Doctorale Génie du Vivant et Modélisation, Université de Mahajanga
(2) Faculté des Sciences de Technologies et d'Environnement, Université de Mahajanga
Email: aristarquelb@yahoo.fr
Adresse: Lot 0211 AM 0080 Ambohimandamina, (401) MAHAJANGA

RESUME :

Les grandes concentrations alluviales en métaux lourds de Madagascar sont reparties dans les sables à minéraux lourds localisés le long du littoral aux Sud-Est, Sud-Ouest et Est de l'île et recouvertes des sédiments récents, notamment, l'alluvion, le sable, et la dune vive qui sont associés avec des minéraux à propriétés de résistance à l'altération. Les minéraux lourds peuvent être extraites des éléments rares sous forme d'oxyde, nécessaires à la technologie et à l'industrie. Le dioxyde de titane est extrait dans ces minerais comme l'ilménite et le rutile. Le principal minerai de dioxyde de zirconium et d'hafnium est le zircon. Les objectifs de notre travail sont de savoir les minéraux représentatifs des gisements de types placers de la côte Est de Madagascar et de déterminer leurs teneurs. Les recherches documentaires, les travaux sur terrain, et l'analyse géostatistique nous ont permis d'effectuer nos recherches, afin qu'ils nous ont obtenu les résultats indispensables à notre thème traité. Nous avons estimé la teneur de minéraux dans les placers de nos sites d'étude. Pour le placer de Fenoarivo antsinanana, dont sa surface est de 15 000 m^2, dans 1 kg des échantillons secs présentent 0,7 kg de minéraux lourds, notamment l'ilménite et du grenat et 0,3 kg de quartz (sable). Pour le placer d'Antanambao Mahasoa, dont sa surface est de 200 000 m^2, dans 1 kg des échantillons secs présentent 0,8 kg de minéraux lourds, notamment l'ilménite et du grenat et 0,2 kg de quartz (sable). Tandis que le placer d'Ampasimbe, dont sa surface est environ 180 000 m^2, dans 1 kg d'échantillons secs présentent 0,7 kg de minéraux lourds, notamment l'ilménite, le rutile, et le grenat et 0,3 kg de quartz (sable).

ABSTRACT

The subsoil of Madagascar presents different mineral wealth with economic interests. The heavy alluvial concentration of heavy metals from Madagascar are distributed in the heavy mineral and titanium sands located along the coastline in the south-east, south-west and east of the island and covered with recent sediments, including alluvium, sand, and the lively dune that are associated with minerals with properties to resist weathering. Heavy minerals can extract rare elements in oxide form necessary for technology and industry. Titanium dioxide is extracted in its minerals such as ilmenite and rutile. And the main ore of zirconium dioxide and hafnium is zircon. The objectives of our study are to know the content of representative placer minerals of the East coast of Madagascar and to determine their origins. Documentary research, field work, geostatistical analysis, and laboratory work allowed us to carry out our research, so that we obtained the essential results for our theme. We estimated the mineral content in the placers of our study sites. To place it of Fenoarivo antsinanana, whose surface is 15 000 m^2, in 1kg dry samples have 0.7 kg of heavy minerals, notably ilmenite and garnet and 0.3 kg of quartz (sand). To place Antanambao Mahasoa, whose surface is 200,000 m^2, in 1 kg dry samples have 0.8 kg of heavy minerals, including ilmenite and garnet and 0.2 kg quartz (sand). While placing Ampasimbe, whose surface is about 180 000 m^2, in 1 kg of dry samples present 0.7 kg of heavy minerals, including ilmenite, rutile, and garnet and 0.3 kg of quartz (sand).

Key words: *Analanjirofo, placer, heavy mineral, element, sand*

INTRODUCTION

Les gisements secondaires détritiques sont les meilleurs gisements des minéraux lourds à métaux rares. Les sables des plages de la côte Est de Madagascar sont parmi les plus riches en minéraux lourds (ilménite, monazite, zircon) permettant d'extraire les éléments de terres rares, le titane et le zirconium. Les placers des sables des plages de la Région Analanjirofo sont favorables aux ilménite, rutile, et zircon. Les zones minérales potentielles pour les dépôts des minéraux lourds de la Région Analanjirofo comprennent des zones le long de la côte, et recouvertes des sédiments récents, notamment, l'alluvion, le sable, et la dune vive. Ces zones minérales sont associées avec des minéraux à propriétés de résistance à altération.

Dès le 18è siècle jusqu'à nos jours, les éléments rares sont très recherchés. En tant que pigment blanc et permanent, l'oxyde de titane rencontre ses principales applications. Il est indispensable dans le domaine de l'industrie des peintures, des encres d'imprimerie, des matières plastiques, des textiles, de la papeterie et du bâtiment. Son innocuité et sa grande pureté permettent son emploi dans l'industrie de l'emballage alimentaire, mais aussi en pharmacie et en cosmétique. De nouvelles applications se développent constamment, et l'oxyde de titane et ses dérivés sont actuellement utilisés dans les divers secteurs tels que la catalyse, les poudres céramiques employées dans des domaines de haute technologie. Tandis que le dioxyde de zirconium est utilisé dans le domaine des chimies, aéronautiques, électroniques et électriques, et superalliages, et aussi dans le secteur du nucléaire.

Nous constatons que jusqu'à maintenant, les minéraux représentatifs des placers de la région étudiée et leurs teneurs de ces minéraux lourds ne sont pas encore déterminés officiellement. L'étude la plus récente sur les placers de la côte Sud-Est de Madagascar révèle que les minéraux lourds à métaux rares sont transportés aux alentours de 50 Km de la côte.

Les objectifs principaux de ce travail sont d'abord de connaitre les minéraux associés aux placers la Région Analanjirofo, en estimant leurs teneurs, puis de trouver de nouveaux gisements des minéraux lourds en découvrant les anomalies en Ti-Zr, ensuite, de savoir les origines des minéraux lourds à Ti-Zr dans notre site d'étude, en examinant les roches environnantes. Une étude minéralogique systématique des échantillons collectés dans les placers d'Ampasimbe, d'Antanambao Mahasoa, et de Fenoarivo antsinanana a été faite pour connaitre les gisements le plus riches en minéraux lourds. La modélisation des minéraux étudiés est établie. Elle permettra de distinguer les abondances des différents éléments contenant dans les minéraux lourds en comparant entre eux.

I. PRESENTATION DES SITES D'ETUDE

Notre zone d'étude est située dans les Communes rurales d'Ampasina Maningoro, d'Ampasimbe Manatsatrana et dans la Commune urbaine de Fenoarivo antsinanana, District de Fenoarivo antsinanana, dont les placers côtiers de la ville de Fenoarivo antsinanana, et celui des villages d'Antanambao Mahasoa, d'Ampasimbe, respectivement du sud vers le nord. Géographiquement, ces villages se situent entre 2 à 45 km au Nord du Centre-ville de Fenoarivo Antsinanana, Est de Madagascar, et entre les coordonnées ci-après :

Coordonnées Laborde : X (m)		Y (m)
	Min 710 000	960 000
Max 730 000	1 000 000	

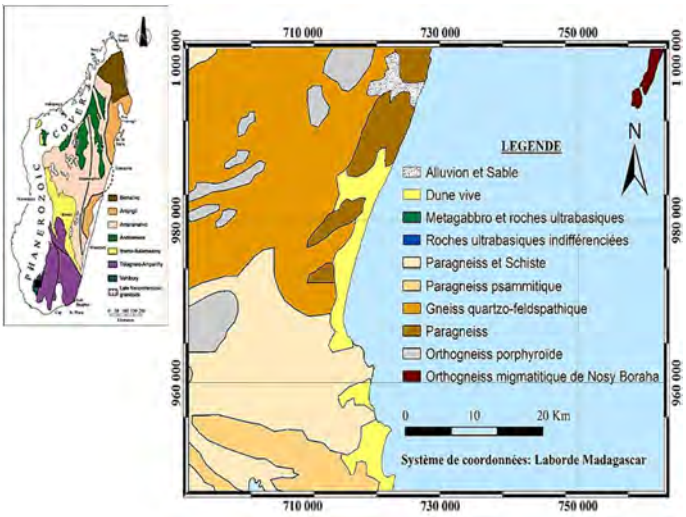

Figure 1 : Carte géologique de la région étudiée (**Tucker *et al., 2012, modifiée par* Aristarque L., 2019)**

II. METHODOLOGIE

Les levers géologiques et géochimiques sont basés sur les observations des faciès pétrographiques des roches environnantes et une description des minéraux présents dans les placers de la Région Analanjirofo.

Nous avons fait une récolte des échantillons, la prise des photographies et des mesures de pendage et de direction des couches, afin de vérifier et de contrôler les données recueillies durant la compilation bibliographique. Nous avons fait la reconnaissance et l'échantillonnage pendant un mois. L'observation du substratum rocheux, des affleurements et des rivières étaient nécessaires pour connaitre les échantillons représentatifs et les moyens de transports des minéraux lourds avant l'échantillonnage. Durant la reconnaissance et l'échantillonnage des placers et des affleurements, nous avons préparé une traverse recoupant les principales formations géologiques et les zones des dépôts. Le but de la traverse est de planifier un déplacement et d'effectuer l'échantillonnage avec précision.

Une méthode géostatique nous a permis d'effectuer une estimation de la teneur des minéraux lourds. Cette méthode permet de calculer l'accumulation, la moyenne pondérée, la teneur moyenne des minéraux lourds pour chaque placer.

- **Teneur moyenne**

À un point « i », nous avons estimé la teneur en minéraux lourds pour chaque placer selon la formule ci-après.

$$t_{moy} = \frac{\sum_i t_i s_i}{\sum_j s_j}$$

Avec
ti = teneur au point i
Si et Sj = facteur de pondération dépendant de la méthode utilisée

- **Moyenne Pondérée**

Cette formule permet de déterminer la moyenne pondérée au point « i ».

$$\Sigma ti\ wi\ /\ \Sigma\ wi$$

Avec
ti : teneur,
wi= pondération ou épaisseur

- **Accumulation**

L'accumulation des minéraux lourds peut obtenir à partir de la formule au point « i ».

$$ti \times wi$$

- **Méthode des sections**

Nous avons échantillonné les sables noirs des placers de la région étudiée. Pour regrouper les minéraux lourds, nous avons séché, tamisé et trié les échantillons représentatifs de chaque placer. Puis, nous avons pesé les minéraux lourds selon leurs catégories.

III. RESULTATS

III.1. Description minéralogique des placers de la Région Analanjirofo

Les minéraux représentatifs des placers de la région étudiée sont bien cristallisés. Dans la plupart des cas, les minéraux lourds sont xénomorphes ou subautomorphes, avec une couleur identique selon leur variété. Les cristaux de petite et moyenne taille sont plus ou moins gemmes avec une transparence fréquente, et une couleur très accentuée. Les minéraux de taille plus grande sont relativement fissurés qui représentent environ 50 % de la pierre (cas des grenats), dont la couleur est beaucoup plus sombre par rapport à celui de petite taille. L'augmentation du nombre de fissures au sein de la pierre réduit sa qualité. D'après nos observations, ces fractures peuvent être probablement occasionnées par les forces de choc que les minéraux ont transporté de leurs origines jusqu'au dépôt.

III.1.1. Placers de Fenoarivo antsinanana

Le placer de Fenoarivo antsinanana est un dépôt récent associé avec les sables de plage. Il est composé d'ilménite et du quartz à grains fins et dépourvus des autres minéraux lourds.

Photo 1 : Placer de Fenoarivo antsinanana

III.1.2. Placers d'Antanambao Mahasoa

Le placer d'Antanambao Mahasoa est un dépôt récent associé avec les sables de plage. Il est composé d'ilménites, de rutiles, de zircons, de quartz, et de grenats, à grains fins.

Photo 2: Placer d'Antanambao Mahasoa

III.1.3. Placers d'Ampasimbe

Le placer d'Ampasimbe est une dune vive associée avec les sables de plage. Il est à iIlménite, à zircon, à grenat, et à rutile. Au Sud et au Nord d'Ampasimbe, les minéraux sont grenus de 1 à 6 mm de longueur. Au Centre d'Ampasimbe, les minéraux sont à grains moyens de 1 à 3 mm de longueur.

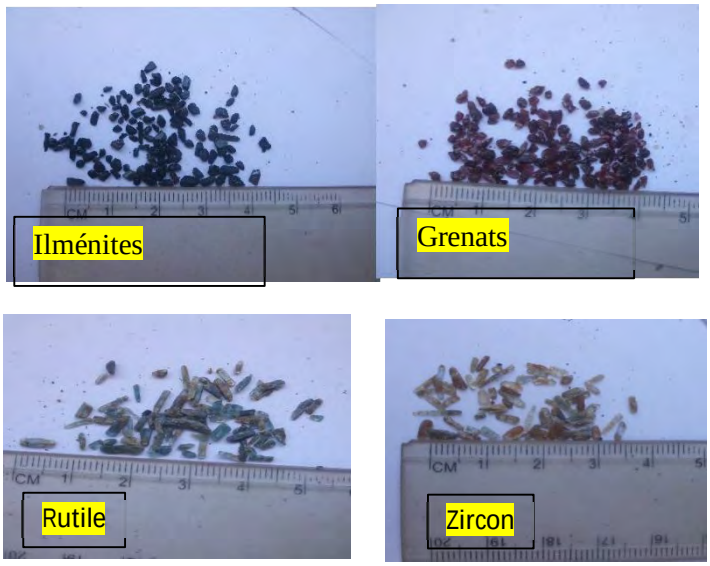

Photo 3 : Minéraux représentatifs du placer d'Ampasimbe

III.2. Estimation de la teneur en minéraux lourds pour chaque placer

Nous avons estimé la teneur de minéraux dans les placers de la région étudiée selon trois méthodes de calcul.

- Méthode des sections « manuelle »

Le placer de Fenoarivo antsinanana, est un placer étroit, de 15 000 m2 de surface (250 m de longueur, 60 m de largeur et avec une épaisseur de 0,60 à 1,20 m).

Dans 1 kg d'échantillons secs présentent 0,7 kg de minéraux lourds, notamment l'ilménite et et 0,3 kg de quartz (sables). En termes de pourcentage 70 % de minéraux lourds et 30 % de quartz (sable).

Le placer d'Antanambao Mahasoa, a une surface de 200 000 m2 (2000 m de longueur et 100 m de largeur) et avec une épaisseur de 0,50 à 1,10 m).

Dans 1 kg d'échantillons sec présentent 0,8 kg de minéraux lourds, notamment l'ilménite et du grenat et 0,2 kg de quartz (sables). En termes de pourcentage 80% de minéraux lourds et 20 % de quartz (sable).

Pour le placer d'Ampasimbe, a une surface environ 180 000 m2 (2 000 m de longueur et 80 m de largeur) et avec une épaisseur de 0,50 à 2 m). Dans 1 kg d'échantillons sec présentent 0,7 kg de minéraux lourds, à savoir l'ilménite, rutile, du grenat et 0,3 kg de quartz (sable). En termes de pourcentage 70 % de minéraux lourds et 30 % de quartz (sable).

- Teneur moyenne

D'après l'application de la formule du calcul de la teneur moyenne des minéraux lourds dans notre site d'étude, le placer d'Ampasimbe a une teneur moyenne de 70 %. Puis le placer d'Antanambao Mahasoa a une teneur moyenne de 80 %. Tandis que celui de Fenoarivo antsinanana a une teneur moyenne de 60 %.

- Moyenne Pondérée et accumulation

D'après notre calcul, la Moyenne pondérée des trois placers est de 69,66 %. Selon la Méthode des %, elle est 69,91 %. L'accumulation des minéraux lourds dans les trois placers est différente.

- À Fenoarivo antsinanana l'accumulation est égale à 0,54
- À Ampasimbe l'accumulation est égale 0,64
- À Antanambao Mahasoa l'accumulation est égale 0,875.

IV. DISCUSSION

La nature des minéraux constitutifs des placers de la Région Analanjirofo montre la richesse en minéraux lourds, sauf le placer de Fenoarivo antsinanana qui est le plus pauvre en minéraux lourds. Il est plus ou moins homogènes. Comme les placers des Petriki, Mandena et Sainte Luce, les placers de la Région Analanjirofo sont placés au-dessus du niveau de la mer. Les placers de la région étudiée sont des dépôts étroits (60 m à 100 m de largeur). Tandis que celui des Petriki, Mandena et Sainte Luce sont des grands dépôts (10 km à l'intérieur des terres). En 2011, Montel *et al.* représentent que ces placers contiennent environ 2 000 Mt de sable, avec 5 % volume en minéraux lourds et avec une teneur en TiO2 de 60 % poids.

Les études de Razafimahatratra en 2008 et en 2011 montrent que le sable de plage de Sainte Luce est constitué de monazite. Ce minéral est dépourvu dans les placers de la Région Analanjirofo. L'existence des Zircon, rutile, grenat, dans les placers de la Région Analanjirofo apporte des atouts et intérêts économiques des gîtes, à cause de leurs utilisations à l'industrie et à la technologie. Le récemment étude sur les placers de la côte Est de Madagascar révèle que ces placers sont constitués de 12 tonnes d'ilménites et 0,7 tonnes de zircons. De plus, leurs teneurs très élevées en minéraux

lourds (70% à 80%) sont devenir un pivot de la recherche géologique, en faisant les reconnaissances et explorations géologiques des éléments lors des éventuelles études.

CONCLUSION

Les placers de la Région Analanjirofo sont les meilleurs gisements des minéraux lourds à métaux rares. L'altération des roches mères produit d'un gisement de type placers. L'érosion use graduellement la roche, en laissant les minéraux les plus lourds. L'érosion peut à elle seule, sans autres procédés, produire un placer à faible teneur, mais le transport et la gravité concentrent les minéraux et produisent de meilleurs placers. L'eau de pluie ou d'un courant ramassera et transportera les minéraux libres. Lorsque le courant diminue, par exemple à un méandre ou à cause de roches dans le lit du cours d'eau, les minéraux quittent le courant par gravité et se concentre en traînées.

Les minéraux lourds sont éparpillés dans les sables et se concentre dans des plages tout au voisinage de l'embouchure des fleuves à cause de courant marin, de vague et de vent. Le principal gisement des minéraux lourds est découvert aux placers côtiers ainsi que dans le placer marin. Selon lui-même les gisements les plus riches découverts contiennent jusqu'à 50% d'Ilménite. Ces placers côtiers sont présentés en forme de corps stratiformes lenticulaires due à la concentration mécanique des minéraux plus denses. Ils sont retrouvés dans la baie à l'abri des courants du vent sous forme de lentilles allongées parallèles au rivage. Des éléments grossiers sont retrouvés sur la plage, qui sont dus à l'accumulation de retrait partiel de la mer. Les placers alluviaux sont les placers d'âge récent, favorable en minéraux lourds qui résultent à l'altération. Les placers littoraux à l'Est de Madagascar sont représentés par des placers de rivage proximal et des placers de rivage distal. Le long de la côte est pourraient être favorables pour Au -REE, PGE-Au, Ti, Zr et aussi bien que pour le diamant. Du point de vue économique, la teneur et l'accumulation des minéraux lourds dans les placers de la Région Analanjirofo sont très importants. Nous pouvons dire que la côte Est de Madagascar a des gites intéressants à la prospection.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BGS-USGS-GLW, 2008. Révision de la cartographie géologique et minière des zones Nord et Centre de Madagascar (Zones A, B et D). République de Madagascar, Ministère de L'énergie et des Mines (MEM/SG/DG/UCP/PGRM). P1049.

BRGM, 2018. Fiche de synthèse sur la criticité des métaux. Le zirconium (Zr) – éléments de criticité. Revues, pp08.

CHRISTMANN P., 2012. Terres rares : enjeux et perspectives. [en ligne]. Disponible sur « http//www.developpement_durable.gouv.fr/IMG/pdf/ Econote_ ECONOTE-No_2011.pdf ». Consulté le 19 Mai 2019.

CREAM, 2014. Monographie de la Région SAVA. [en ligne]. Disponible sur «http://www.monographiemada.com/». Consulté le 14 Avril 2019.

MONTEL, J-M., RAZAFIMAHATRATRA, D., RALISON, B., DE PARSEVAL, P., MICHEL THIBAULT, M., RANDRANJA, R., 2011. Monazite from mountain to ocean,: a case study from Trolognaro (Fort Dauphin), Madagascar: European Journal of Mineralogy, v. 23, p. 745–757.

RAZAFIMAHATRATRA, D., 2008. La Monazite des Chaines Anosyennes : des Gisements en Place Aux sables de plages à ilménite-zircon-monazite :

Université d'Antananarivo Ecole Supérieure Polytechnique, Département Mines, Thèse de Doctorat, 319, p.

TUCKER *et al.*, (2012)a. Carte géologique de la République de Madagascar à l'échelle de 1/1 000 000. Symposium Antananarivo.

TUCKER *et al.*, (2012)b. Synthèse géodynamique de la nouvelle cartographie géologique de Madagascar à l'échelle de 1/1.000.000. Symposium Antananarivo.

TUCKER *et al.*, (2012)c. Notice explicative des cartes géologiques et métallogéniques de la République de Madagascar à 1/1 000 000. Symposium Antananarivo. pp 68-72.