

APPROCHE METALLOGENIQUE DU GISEMENT DE GRAPHITE D'IALATSARA, DISTRICT D'ANTANIFOTSY

Dieudonné RAZAFIMAHATRATRA¹, Riana Herintsoa RAKOTONIRINA¹, Alfred ANDRIAMAMONJY²

1- *Ecole Normale Supérieure, Université d'Antananarivo, Madagascar*

2- *Sciences de la Terre et de l'Environnement, Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo, Madagascar*

Résumé

Le gisement de graphite d'Ialatsara, Commune Rurale d'Ambatomiady, District d'Antanifotsy se trouve dans les couches de khondalites et de micaschistes altérées qui appartiennent au groupe d'Ambatolampy, domaine d'Antananarivo. Ce sont des roches métamorphiques d'intensité élevée d'âge mésoprotérozoïque. Elles ont été affectées par plusieurs phases de déformations intenses durant les différentes orogénèses précambriennes. Les roches minéralisées sont constituées par des bancs de gneiss graphiteux de 50cm à quelques mètres d'épaisseur (5 à 6m), de direction N15 et de pendage 50° à 60°WNW. Les unités graphitiques s'intercalent entre les couches des khondalites, des micashistes et des quartzites. Parfois, la minéralisation se présente sous forme de boudinage. Le graphite est de type paillette. Il s'agit de graphite de haute qualité dont la teneur en carbone varie de 92 et 94%.

Mots clés : Graphite, khondalites, gisement métamorphique, déformation, paillettes, carbone, Ialatsara

1- MINERALOGIE DU GRAPHITE

Le graphite était connu sous le nom de «plomb noir ou plombagine». A la fin du XVIIe siècle, le graphite a été identifié comme une forme cristalline du carbone par le chimiste suédois Carl Wilhelm Scheele. Le terme « graphite » a été inventé en 1789 par le minéralogiste allemand Abraham Gottlieb Werner, s'inspirant du grec « graphein » qui signifie écrire (Barthélémy et al. 2012).

Le graphite est un élément natif essentiellement formé par le carbone, sa formule chimique est « C », il cristallise dans le système hexagonal (Barthélémy et al. 2012). Les cristaux sont formés de feuillets superposés, constitués d'anneaux hexagonaux d'atomes de carbone. Ces couches sont appelés graphènes. Les feuillets sont reliés entre eux par des liaisons de type Van der Waals (ou type Ö) ce qui explique la faible interaction entre les couches.

Le graphite est caractérisé par un aspect gras, une couleur variant du gris au noir et un éclat semi-métallique. Il est opaque même en fines sections (Goodman, 2008). Il laisse une trace noire sur le papier ou les doigts. Le graphite est un corps très tendre et flexible mais non élastique, de dureté faible 1 à 2 dans l'échelle de Mohs et sa densité varie entre 2,1 et 2,3. Il tâche les doigts et son coefficient de frottement est faible.

Le graphite a une conductivité thermique et électrique élevée (Barthélémy et al. 2012). C'est un minéral hautement réfractaire puisqu'il ne fond pas au chalumeau, son point de fusion est très élevé (3 500 °C) et il est également chimiquement inerte.

Il existe 3 principaux types de graphite naturel selon ses formes (Becq-Giraudon, 1989) :

- Le graphite amorphe : il est constitué de particules fines disséminées et est également appelé graphite microcristallin. Il présente un aspect terreux noir. La teneur en carbone varie de 65 à 90%, une teneur un peu faible par rapport aux autres types de graphite. Il se rencontre dans les gisements du Mexique, de Corée et d'Autriche.
- Le graphite en paillette ou « cristallin » : il s'agit de graphite lamellaire aux bords hexagonaux irréguliers à parfaits. La teneur en carbone des paillettes varie de 85 à 99,5 %. Ce type de graphite est le plus fréquent et on le trouve notamment en Chine, au Canada, au Brésil et à Madagascar (47).
- Le graphite en veine ou graphite en masse : il se trouve à grande profondeur dans les fissures ou fractures de 1 mm à 1m de puissance. C'est un graphite sous forme de masses de grains microcristallins (graphite amorphe), de lamelles et agrégats fibreux ou aciculaires (graphite cristallin). Il présente une teneur en carbone supérieure à 90%. Il est également appelé graphite de Ceylan dont Sri Lanka est le seul pays producteur de ce type de graphite.

2- UTILISATION DE GRAPHITE

A cause de ses multiples propriétés, le graphite trouve ses applications dans de nombreux domaines soit à l'état naturel qui se rencontre dans les roches métamorphiques, soit synthétique et élaboré par graphitisation à haute température de coke de pétrole (Becq-Giraudon, 1989 ; Barthélémy et al. 2012 ; Chhor 2014) :

- Fonderie : du fait de sa grande résistance thermique et sa bonne conductibilité thermique, le graphite entre dans la composition d'enduits destinés à recouvrir la surface des moules de fonderie pour éviter le phénomène de dilatation provoqué par le métal en fusion.
- Réfractaire: ayant un pouvoir réfractaire élevé, il entre dans la fabrication revêtements d'engins aérospatiaux, participe aux revêtements des orifices de coulée des fours.
- Balais pour moteurs électrique, pile sèche, électrode : l'onctuosité et la haute conductivité électrique du graphite en fait un matériel de choix pour fabriquer du balais pour moteurs électriques. Il entre aussi dans la composition du mélange dépolarisant remplissant la majeure partie de l'intérieur d'une pile sèche.
- Lubrifiants : l'onctuosité du graphite, son bas coefficient de friction ainsi que sa grande résistance à la chaleur en font le matériau idéal comme adjuvants dans certains lubrifiants.
- Crayons : le graphite est mélangé avec un peu d'argile et d'autres adjuvants puis chauffé à une température de 1000 à 1800°C pour obtenir la mine de crayon.
- Peinture : le graphite est également employé dans la fabrication de peintures destinées à la protection de surfaces métalliques exposées à des agents corrosifs.

- Véhicules électriques : il est utilisé dans les systèmes de stockage d'énergie, dans le domaine des batteries lithium-ion.
- Domaines de haute technologie : le graphène est très utile pour les nanotechnologies.
- Industrie nucléaire : le graphite est utilisé dans les réacteurs nucléaires comme barres de contrôle de la puissance des réacteurs et dans des pièces réflectrices de neutrons.

3- LES GISEMENTS DE GRAPHITE

3-1 Les différents types de gisements de graphite dans le monde

Le graphite se produit naturellement dans les roches métamorphiques à la suite du métamorphisme, il peut également être trouvé dans les veines et les roches intrusives comme les pegmatites (Barthélémy et al. 2012). Les trois types de gisements de graphite sont:

- Les gisements métasomatiques de type « skarns », le graphite se forme par cristallisation du carbone organique ou par réduction du CO₂ initialement contenu dans les roches carbonatées. La minéralisation est un graphite de type amorphe.
- Les gisements de veines hydrothermales qui se forment à partir des solutions (liquides) post-magmatiques riches en éléments volatils, notamment du CO₂, la précipitation de graphite se fait dans la fracturation de la roche hôte. Ils sont généralement associés à des terrains métamorphiques. Ces gisements renferment des graphites amorphes et en paillettes qui sont généralement très hétérogènes en pureté, en nature et en dimension des cristaux.
- Les gisements métamorphiques qui sont caractérisés par concentration et cristallisation du carbone pendant un métamorphisme régional. Ils sont souvent associés à des roches métasédimentaires riches en silice (schistes, gneiss, quartzites) et à des marbres. La minéralisation est de graphite en paillettes disséminés ou sous forme de lentilles atteignant jusqu'à 1 km de long et 20 m de puissance.

3-2 Les gisements de graphite de Madagascar

A Madagascar, la source en graphite provient du métamorphisme des roches sédimentaires riches en carbone telles que des carbonates ou des schistes argileux présents dans les ensembles archéens et protérozoïques (Simandl et Kenan, 1997a et b). Deux types de graphite ont été identifiés : graphite en paillette qui est le plus rencontré et graphite en masse qui se localise dans la région d'Ampanihy.

Il existe deux types de gisement de graphite à Madagascar (de Kun, 1987) : le gisement métamorphique et le gisement hydrothermal.

Les gisements de type métamorphique se trouvent dans la partie centrale et orientale (Figure 1) de l'île (Bésairie, 1966). Le graphite apparaît sous forme de paillettes dans les roches métamorphiques comme les gneiss et les micaschistes du groupe d'Ambatolampy et du groupe de Manampotsy.

Le gisement de type hydrothermal se concentre essentiellement dans la partie Sud (Figure 1). Il est caractérisé par des veines de graphite dans les fractures des leptynites du groupe d'Ampanihy. Ces veines se

sont probablement formées par précipitation du carbone à partir de fluides métamorphiques très riches en CO₂, qui dans les inclusions fluides des minéraux (quartz, grenat,...) du domaine granulitique du sud de l'île (Ramambazafy et al., 1998).

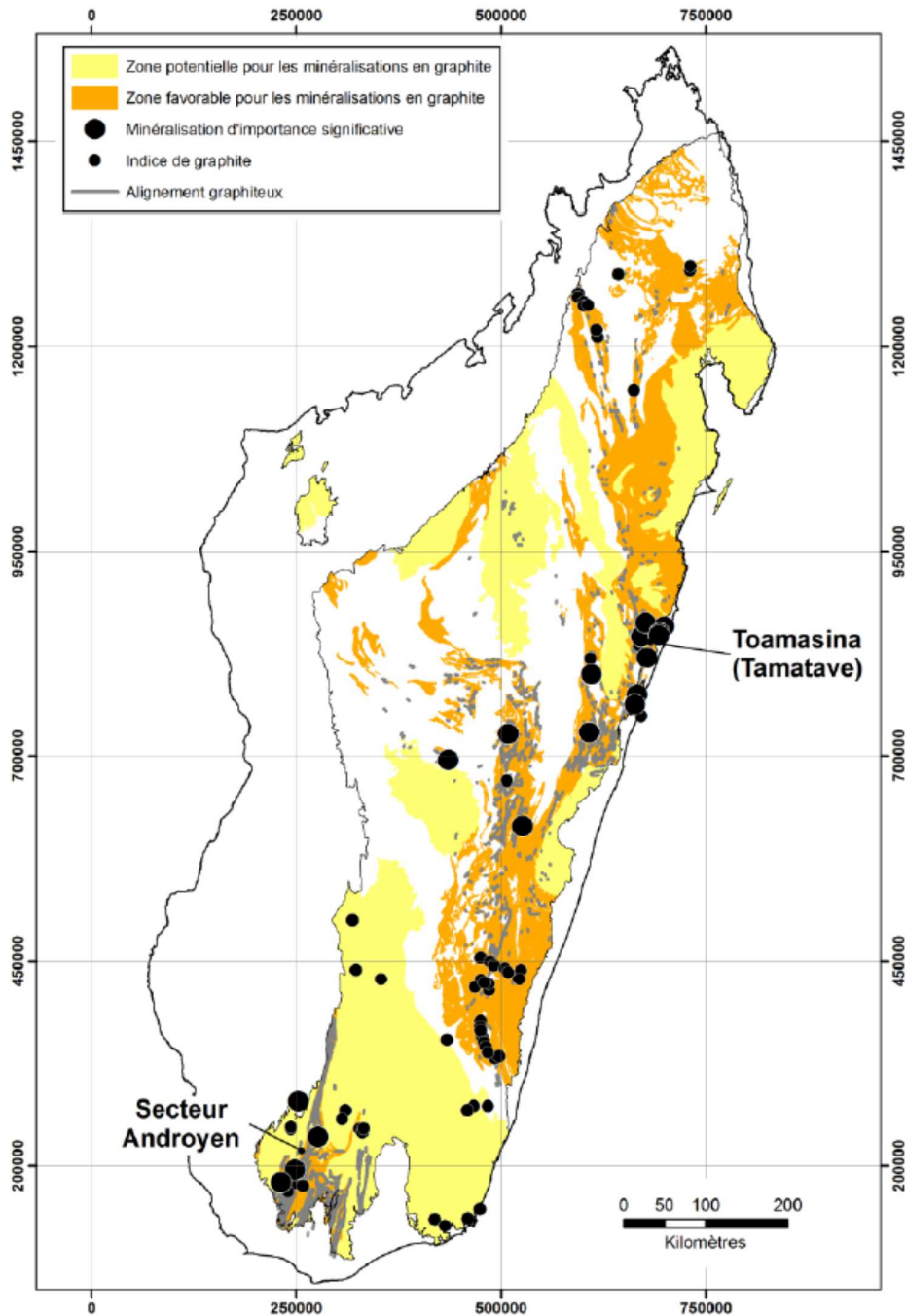


Figure 1 : Carte de distribution des ressources et potentiels en graphite de Madagascar (Tucker et al., 2012)

4- CONTEXTE GEOLOGIQUE REGIONAL

Le gisement de graphite d'Ialatsara se localise dans le groupe d'Ambatolampy (Figure 2) du domaine d'Antananarivo qui fait partie du grand domaine cristallin de Madagascar (MIM, 1966 ; Tucker et al., 2012). Le Groupe d'Ambatolampy, antérieurement reconnu comme « Série d'Ambatolampy » (Besairie, 1973), représente une séquence de roches supracrustales, inégalement préservées, fortement plissées et avec une extension de plus de 400 km depuis Antananarivo jusqu'à Fianarantsoa au sud. Ce groupe tient sa dénomination de la ville d'Ambatolampy qui est située à environ 70 km au sud d'Antananarivo.

Le groupe d'Ambatolampy est une séquence des formations métasédimentaires subparallèles à celle de Manampotsy qui se situe à l'Est (Hottin, 1976) ; ces deux séquences se sont formés pendant une période d'extension continentale et d'âge mesoprotérozoïque. Il est constitué essentiellement par des ectinites reposant sur des migmatites ; Ce sont des schistes et des paragneiss alumineux dont certains sont riches en graphite, et avec d'abondants niveaux de quartzite.

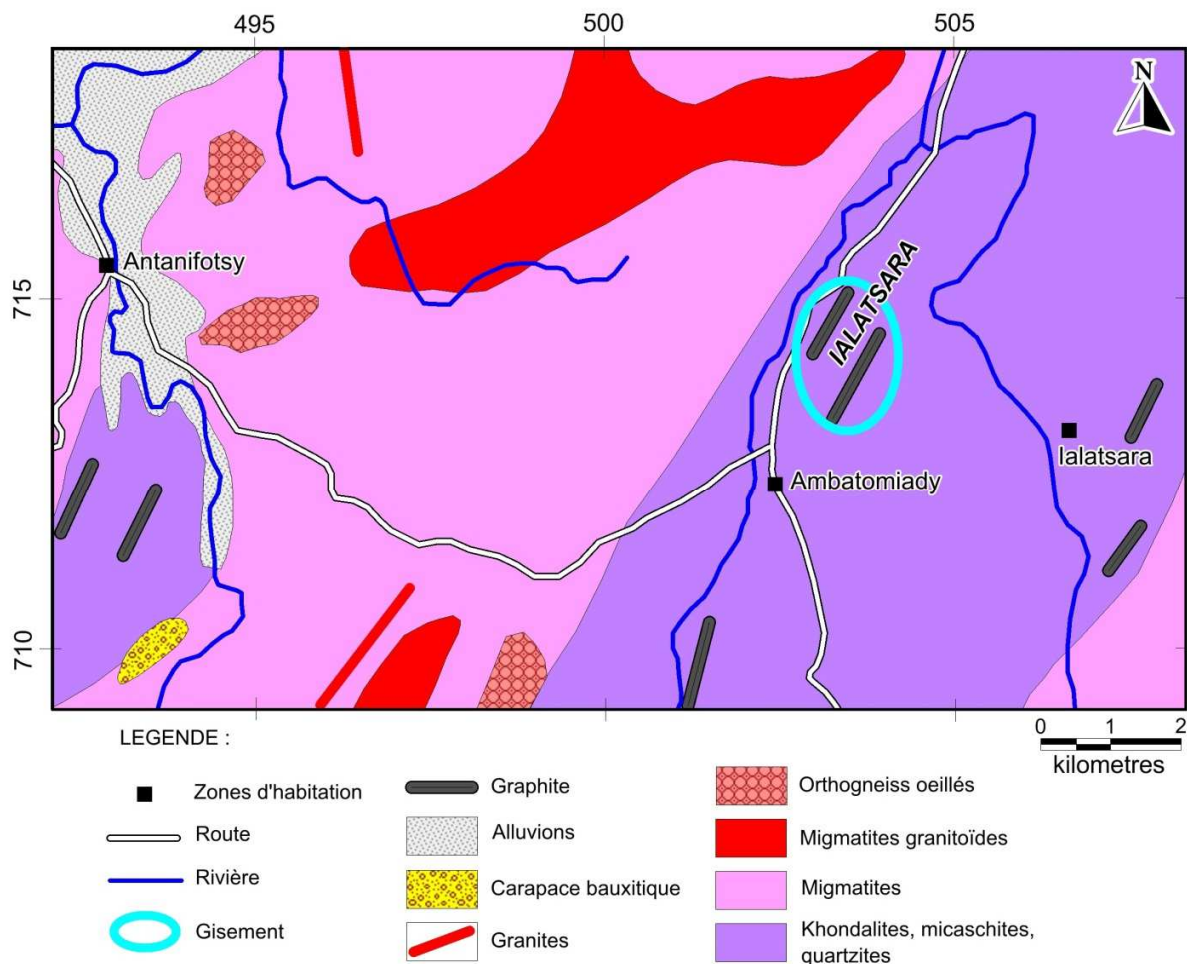


Figure 2 : Carte géologique de la zone d'étude (modifiée d'après Alsac, 1963)

4-1 Paragneiss et schistes

Cette unité dominante du Groupe d'Ambatolampy est constituée par de gneiss et de schistes métapsammitiques à grain fin à moyen (Tucker et al., 2012). Ces paragneiss sont formés des gneiss à diopside, à wernérite et sphène ou des gneiss à sillimanite, grenat et graphite appelé « khondalite » qui constitue les gisements de graphite (Hottin, 1976). Les schistes sont des micaschistes à sillimanite et grenat.

La composition des paragneiss montre une abondance de quartz, de plagioclase, de feldspath-K, de biotite avec en accessoires, du grenat, de la sillimanite, de la muscovite et du graphite (Hottin, 1976). Les feldspaths (30–40 %) sont subordonnés au quartz qui représente toujours plus de la moitié de la minéralogie. La roche devient de plus en plus schisteuse avec l'augmentation de la quantité de biotite (et parfois de muscovite). La muscovite, parallèle à la foliation, et la magnétite, sont les autres minéraux en quantité mineure, alors que le grenat et la sillimanite sont les minéraux accessoires.

4-2 Quartzites

Cette unité s'intercale dans les schistes et paragneiss (Tucker et al., 2012). Ce sont des métaquartzites gris, ferrugineux, probablement des méta-BIFs (Hottin, 1976). Les roches présentent de fines alternances (0,2 à 2 mm) de niveaux riches en quartz qui forment de lamines, de couleur rouille, et à oxyhydroxydes de fer.

Toutes les formations sont recoupées par des granites filoniens gris à grains fins et riche en amphibole (type « Ambatomiranty ») (Hottin, 1976). Les ultrabasites sont rares.

5- LE GISEMENT GRAPHITEUX D'IALATSARA

Le gisement graphiteux d'Ialatsara se trouve environ 24km de la bifurcation d'Ilempona. Les mines se forment le long de la crête de la colline d'Ialatsara (Figure 3A). Sa puissance est environ 700x300m. Cette zone est caractérisée des anciennes mines exploitées durant l'époque coloniale et des différentes tranchées de sondage beaucoup plus récent lors des travaux d'exploration.

Les différents types de faciès rencontrés dans les gisements sont essentiellement métamorphiques alumineux (Figure 4). (1) Les khondalites sont des roches dominant dans le gisement ; ils ont de couleur claire, à grains moyens et altérées ; ces roches sont constitués par de feldspath potassique, de quartz, de grenat, de sillimanite et de graphite, la foliation marquée par l'alternance des lits claires (quartz et feldspath potassique) et des lits sombres (sillimanite, grenat, graphite, biotite) est bien conservée. (2) Les quartzites sont des roches claires, grains moyens à gros grains ; ils se présentent sous forme de petits bancs ou des lentilles très fracturées. Les quartzites sont formés essentiellement par de quartz, un peu de feldspath potassique, de graphite et de magnétite. (3) Les micaschistes sont des roches sombres très altérées, ils sont constitués par de biotite, muscovite, graphite et minéraux opaques. (4) Les filons de quartz proviennent de

la circulation des fluides qui traverse les différentes fractures affectant le gisement. La partie supérieure est constituées des argiles latéritiques et des cuirasses ferrugineuses (figure 4C) de quelques mètres d'épaisseur.

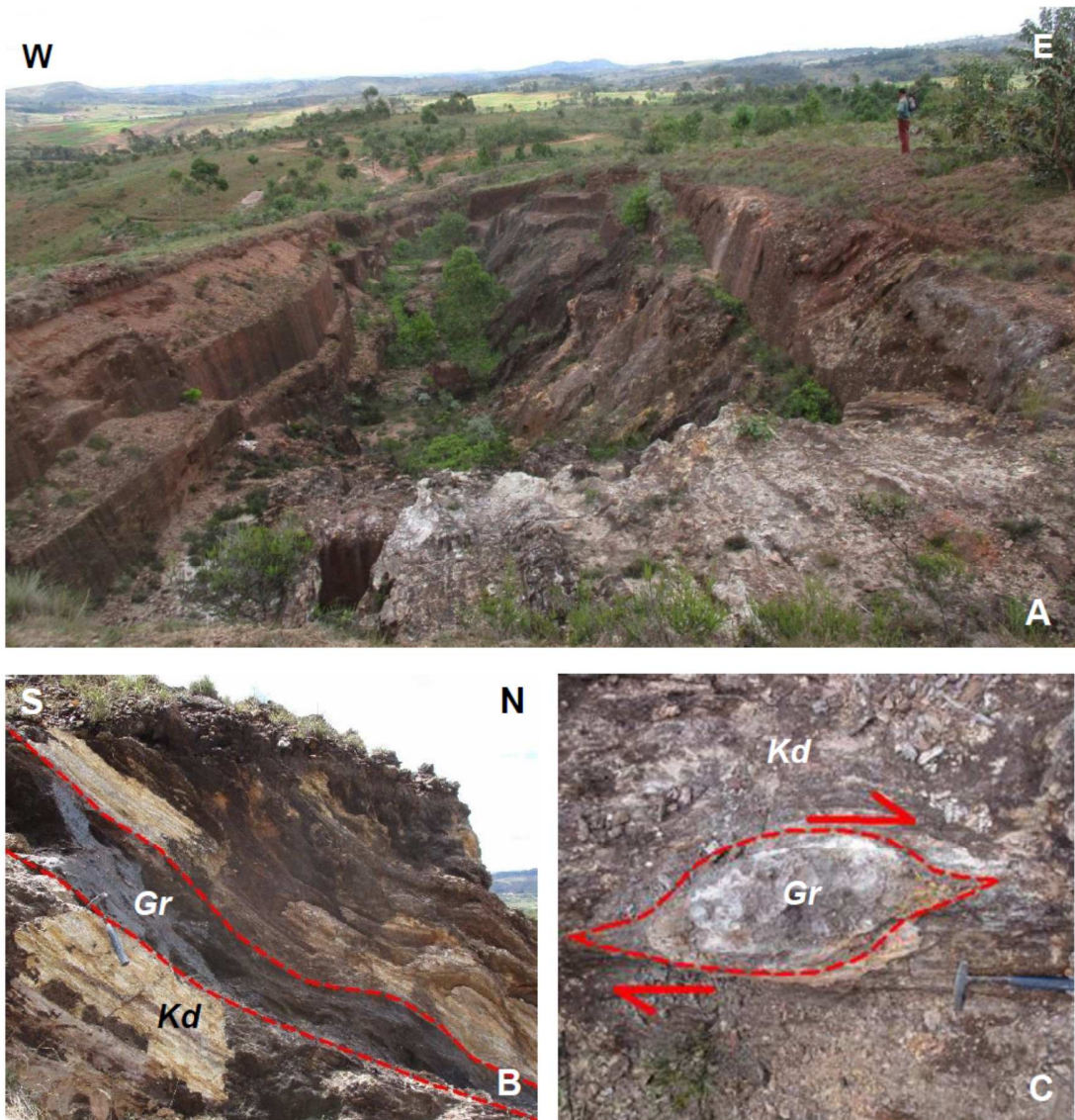


Figure 3 : Le gisement de graphite d'Ialatsara. A- Vue d'ensemble du gisement ; B – Séquence de la structure plissée du gisement ; C- boudinage de couche graphitique dans le khondalite ; Gr = graphite, Kd = khondalite.

L'ensemble des différents faciès est orienté globalement suivant une direction comprise entre N15 à N30 avec un pendage de 50° à 75°NW. La foliation est parfois replissée qui correspond à plusieurs phases de déformation (figure 3C et figure 6), il s'agit des plis anisopaques. Certaines unités graphitiques se présentent sous forme de boudinages asymétriques interstratifiés dans les khondalites et les quartzites. Ces boudinages asymétriques se présentent sous forme des ombres de pression correspondant au cisaillement dextre (figure 3C). Ce gisement a été affecté par des déformations intenses inhomogènes au cours des

différents évènements tectono-métamorphiques précambriens. La figure 6 montre une modélisation en trois dimensions (3D) de la structure de gisement d'Ialatsara.

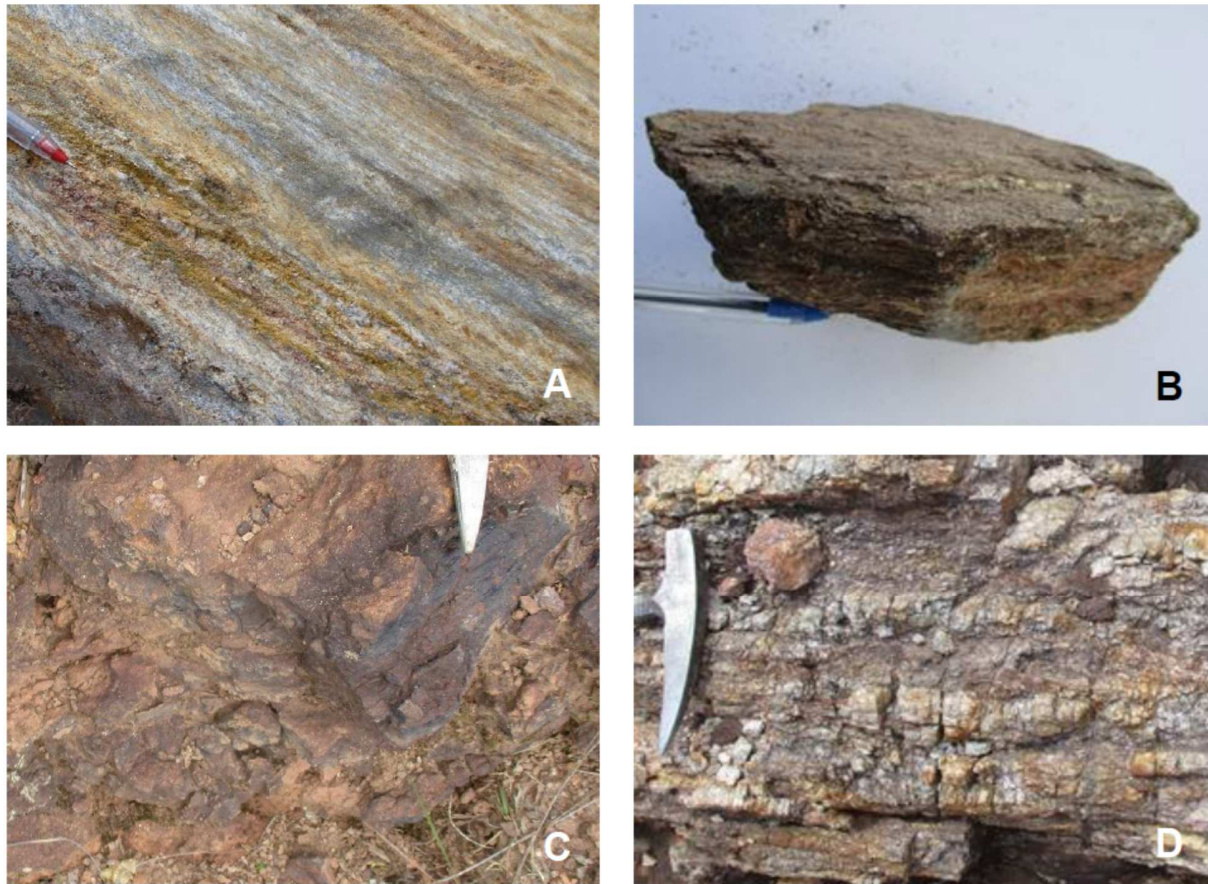


Figure 4 : Les différents types de protolithes, A – khondalite, B – micaschiste, C – cuirasse ferrugineuse, D – quartzites

Les corps minéralisés se présentent sous forme des bancs intercalés avec des couches de khondalites et de quartzites (figure 3B). La minéralisation à graphite est contenue dans des gneiss très altérés et parfois dans des micaschistes (Figure 5). Ces formations sont plus riches en graphite que celles des gisements de la côte Est de Madagascar. Il s'agit de graphite en paillette. Les micaschistes renferment plusieurs amas superposés dont leur épaisseur est 10 m. Ces amas sont composés de graphite d'excellente qualité avec une teneur en carbone entre 92 et 94%. Bésairie (1964) a mentionné qu'à l'époque, les exploitations n'étaient que superficielles et qu'il pourrait avoir d'avantages de gisement de graphites dans cette région. Les bancs de gneiss graphiteux, de 50cm à quelques mètres d'épaisseur (5 à 6m), sont généralement concordants à la foliation générale (Figure 6).

Le graphite peut être associé au feldspath potassique, au quartz, au grenat, à la sillimanite, à la biotite, à la muscovite et à la magnétite. Ce gisement présente un assemblage minéralogique métamorphisé dans le faciès amphibolites.

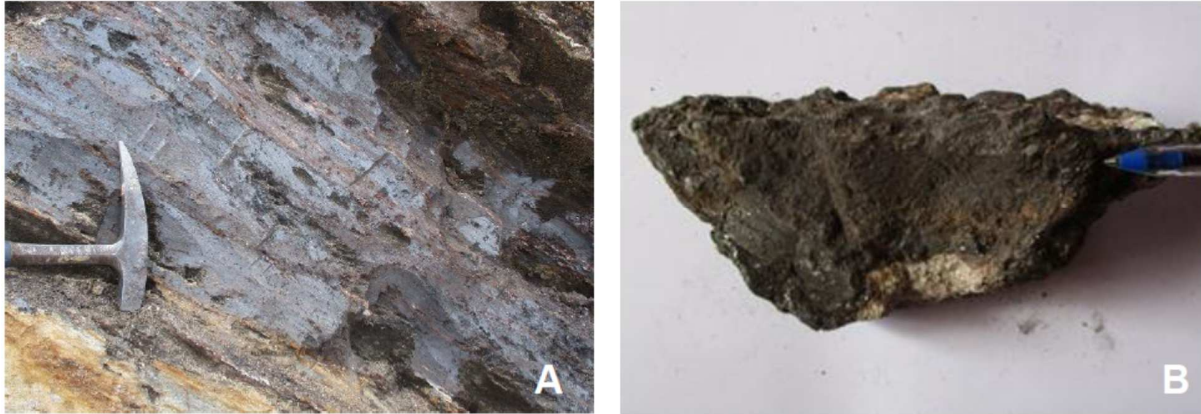


Figure 5 : Faciès minéralisés, A – couche graphitique, B – échantillon de gneiss graphitique

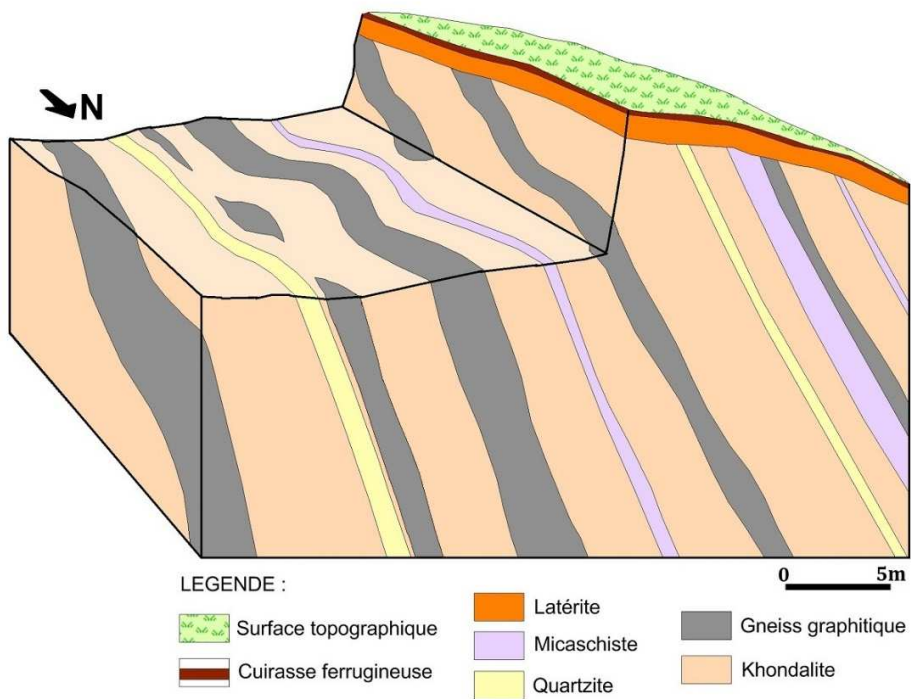


Figure 6 : Modélisation en trois dimensions (3D) du gisement de graphite d'Ialatsara

Dans la partie Nord du gisement, la partie supérieure est formée par des latérites graphiteuses. Les roches à graphite subissent des phénomènes de dissolution et de latérisation. Elles sont altérées et se

transforment en argiles latéritiques de quelques mètres d'épaisseur dans lesquelles le graphite subsiste, il reste toujours intact durant ces phénomènes.

La minéralisation de graphite est probablement d'origine sédimentaire qui fut métamorphisée lors de différentes orogènes précambriennes. Les débris végétaux se sont transportés dans un bassin sédimentaire. Au cours des temps géologiques, ces débris s'enfoncent dans les sédiments formant des différentes strates riches en carbone. Les matières organiques dans ce milieu se seraient évoluées et se seraient transformées en graphite par suite de phénomène de tectono-métamorphique.

6- CONCLUSION

Le gisement d'Ialatsara, dans la commune d'Ambatomiady appartient au groupe d'Ambatolampy. Les couches graphitiques se présentent sous forme de banc interstratifié dans les khondalites, des micashistes et des quartzites, dont l'ensemble suit une direction générale N15 et de pendage 50° à 60°WNW. La puissance des bancs de graphite varie de 50cm à quelques mètres. Les faciès minéralisés sont des micaschistes et khondalites très altérés. Ils présentent un assemblage minéralogique à biotite, muscovite, feldspath potassique, quartz, grenat, sillimanite et magnétite qui appartiennent au faciès amphibolite. Le graphite est de type paillette et d'excellente qualité avec une teneur en carbone entre 92 et 94%. Ce gisement a été affecté par plusieurs phases de déformations intenses durant les différents événements tectono-métamorphiques précambriens.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Alsac, C., 1963. Carte géologique de Madagascar, Echelle: 1/200.000, feuilles: P, Q – 48, 49. Service Géologique de Madagascar, Tananarive.

Barthélémy F., Labbé J.F. et Picot J.C., 2012. Panorama 2011 du marché du graphite naturel. BRGM/RP-61339-FR, 91 p.

Becq-Giraudon, J. F., 1989. Le graphite. Mémento roches et minéraux industriels, Bureau de Recherches Géologiques et Mines, 89 SGN 512. 23p.

Bésairie, H. 1966. Gîtes minéraux de Madagascar. Annales Géologiques de Madagascar, Fascicule XXXIV, Tananarive, 437p.

Bésairie, 1973. Précis de géologie malgaches. Annales Géologiques de Madagascar, Fascicule IIIVI, Tananarive.

Bureau de Recherches Géologiques et Mines, 1984. Plan directeur pour la mise en valeur des ressources du sol et du sous-sol de Madagascar. Ministère de l'Industrie, de l'Energie et des Mines. Antananarivo, 416p.

Chhor S., 2014. Etude et modélisation de l'interface graphite/électrolyte dans les batteries lithium-ion. Thèse de Doctorat, Université de Grenoble, 238 p.

de Kun, N., 1987. Mineral economics of Africa, in *Developments in Economic Geology*, v. 22: New York, Elsevier, 345 p.

Goodman S., 2008. Paysages naturels et biodiversité de Madagascar, Bielec; Paris; 2008.

Hottin, G., 1976. Présentation et essai d'interprétation du précambrien malgache. *Bulletin de bureau des recherches géologiques et Minières. Acad*, 1.55, 1-2, pp. 251-289.

Ministère de l'Industrie et des Mines, 1966. Monographie commune rurale Ambatomiady Antananarivo; 21p.

Ramambazafy A., Moine B., Rakotondrazafy M., Cuney M., 1998. Significance of carbonic fluids in the granulites and skarns of southeast Madagascar. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Séries IIA Earth and Planetary Science* 327 (11), pp 743-748.

Simandl, G.J., Paradis, S., 1999a. Corundum in alumina-rich metasediments, in Simandl, G.J., Hora, Z.D., Lefebure, D.V., Hoy, T., eds., *Selected British Columbia Mineral Deposit Profiles, Volume 3: British Columbia Ministry of Energy and Mines Open File 1999 -10.*

Simandl, G.J., Paradis, S., 1999b. Ultramafic-related corundum, in Simandl, G.J., Hora, Z.D., Lefebure, D.V., Hoy, T., eds., *Selected British Columbia Mineral Deposit Profiles, Volume 3: British Columbia Ministry of Energy and Mines, Open File 1999 -10.*

Tucker, R.D., Peters, S.G., Roig, J.Y., Théveniaut, H., Delor, C., 2012. Notice explicative des cartes géologiques et métallogéniques de la République de Madagascar à 1/1 000 000. Ministère des Mines, Antananarivo, République de Madagascar, 263p.