
**POTENTIELS DE MINERALISATION DES DOMAINES MINIERS DE LA
SOCIETE MINES TANY HAFA (MTH)
(Région de Zazafotsy – Sahambano – Ranotsara au Sud de Madagascar)**

Fascicule 1 : Etat des connaissances géologiques et minières

Ratefiarimino Anick

Potentiel gîtologique de la région de Zazafotsy – Sahambano – Ranotsara

Les objectifs finaux de la prestation sont de dégager les zones potentielles de minéralisation des domaines miniers de la Société Mines Tany Hafa (MTH) dans la région de Zazafotsy – Sahambano – Ranotsara dans le Sud de Madagascar et ce, à la requête du Permissionnaire.

Le présent fascicule consiste en la première étape du document convenu qui contient quatre parties qui sont :

- état des connaissances géologiques et minières de la région concernée qui se fera exclusivement par une compilation bibliographique qui aboutit sur l'essai de compréhension de l'agencement des diverses unités géologiques entre elles et sur la proposition de modèles gîtologiques de chacune des substances inventoriées dans le domaine de MTH.

Le présent fascicule est rédigé suivant trois divisions :

- Sommaire sur la géologie cristalline de Madagascar
- Le contexte géologique du Sud de Madagascar
- Les minéralisations des domaines miniers de MTH

A- Géologie cristalline sommaire de Madagascar

Madagascar est géologiquement constitué de deux entités : le socle cristallin précambrien, polystructuré et uniquement formé de roches cristallines métamorphiques et magmatiques sur lequel repose en discordance la couverture sédimentaire phanérozoïque. Le socle cristallin affleure sur les deux tiers orientaux de l'île. La zone qui intéresse ce rapport est sur le socle cristallin et dans sa partie Sud. Aussi, un survol rapide de la géologie cristalline sera fait avant de présenter le contexte géologique du Sud malgache.

Le socle cristallin précambrien de Madagascar est constitué de (*Collins et al., 2002*) :

- cinq blocs tectono-métamorphiques stables qui sont du Nord au Sud le bloc d'Antongil d'âge Archéen Inférieur et appartenant au vieux craton du Dharwar, le bloc d'Antananarivo d'âge Archéen, le bloc d'Ikalamavony-Amborompotsy d'âge Protérozoïque Moyen, le bloc de Vohibory qui est le vestige d'une ophiolite et le bloc de Taolagnaro-Ampanihy d'âge Protérozoïque Inférieur,
- de trois nappes de charriage qui sont : la nappe de Bemarivo essentiellement formée par des terrains du Protérozoïque Moyen intrudés par des magmatismes récents du

Néoprotérozoïque, la nappe de Tsaratanana avec trois ceintures magmatiques (ceinture de Maevatanana, ceinture d'Andriamena et ceinture de Befandriana – Alaotra – Beforona)

- d'un vestige de la fermeture d'un océan durant la coalescence gondwanéenne, la suture Betsimisaraka

Sur le plan structural, des zones majeures de cisaillement contrôlent les principaux traits structuraux de l'Ile (*Windley et al., 1994*) :

- la zone de cisaillement d'Ifanadiana-Angavo traverse du nord au sud les hauts plateaux centraux malgaches et a été responsable de raccourcissements Est-Ouest des formations ortho et paragneissiques du bloc d'Antananarivo, raccourcissement accompagné d'une verticalisation de la foliation et d'un déversement général vers l'Est des plis régionaux,
- la zone de cisaillement de Toamasina-Manongarivo qui longe la suture Betsimisaraka dans sa partie Nord Ouest entre Toamasina et la presqu'île d'Ampasindava
- la structure cheveu-décrochante (*Rolin, 1991*) de Bongolava – Ranotsara qui serait une structure gondwanéenne réactivée au Crétacé et qui serait alors responsable de la formation par accréation des intrusions circulaires qui la longent (*Lardeaux et al., 1997*). Elle serait dans la continuation du linéament d'Aswa

Ces structures ont été comprises comme étant liées au poinçonnage par le vieux cratons froids et rigides de Dharwar du jeune continent africain chaud et malléable lors de la construction du Gondwana (*Régnoult, 1997*). La structure de Ranotsara aurait alors été un siège d'amortissement qui, elle-même, aurait généré des structures de cisaillement de moindre envergure de part et d'autre et qui sont les zones de cisaillement d'Ejeda, de Beraketa, d'Ampanihy et de Tranomaro au Sud tandis qu'au Nord est décrite la zone de cisaillement de Zazafotsy. La structure chevauchante Betsileo serait également une déformation résultant de ce poinçonnage et aurait permis le chevauchement du bloc d'Ikalamavony-Amborompotsy sur le bloc d'Antananarivo.

B- Contexte géologique du sud de Madagascar

Le Sud de Madagascar est tectoniquement caractérisé par des zones de cisaillement ductile auquel est associé un raccourcissement horizontal Est – Ouest. Une déformation antérieure D_1 de raccourcissement vertical a généré une foliation horizontale S_1 de direction Est – Ouest probable qui a été ultérieurement partiellement oblitérée par la déformation associée au

CARTE DES UNITES TECTONO-METAMORPHIQUES DU CAMBRIEN DE MADAGASCAR

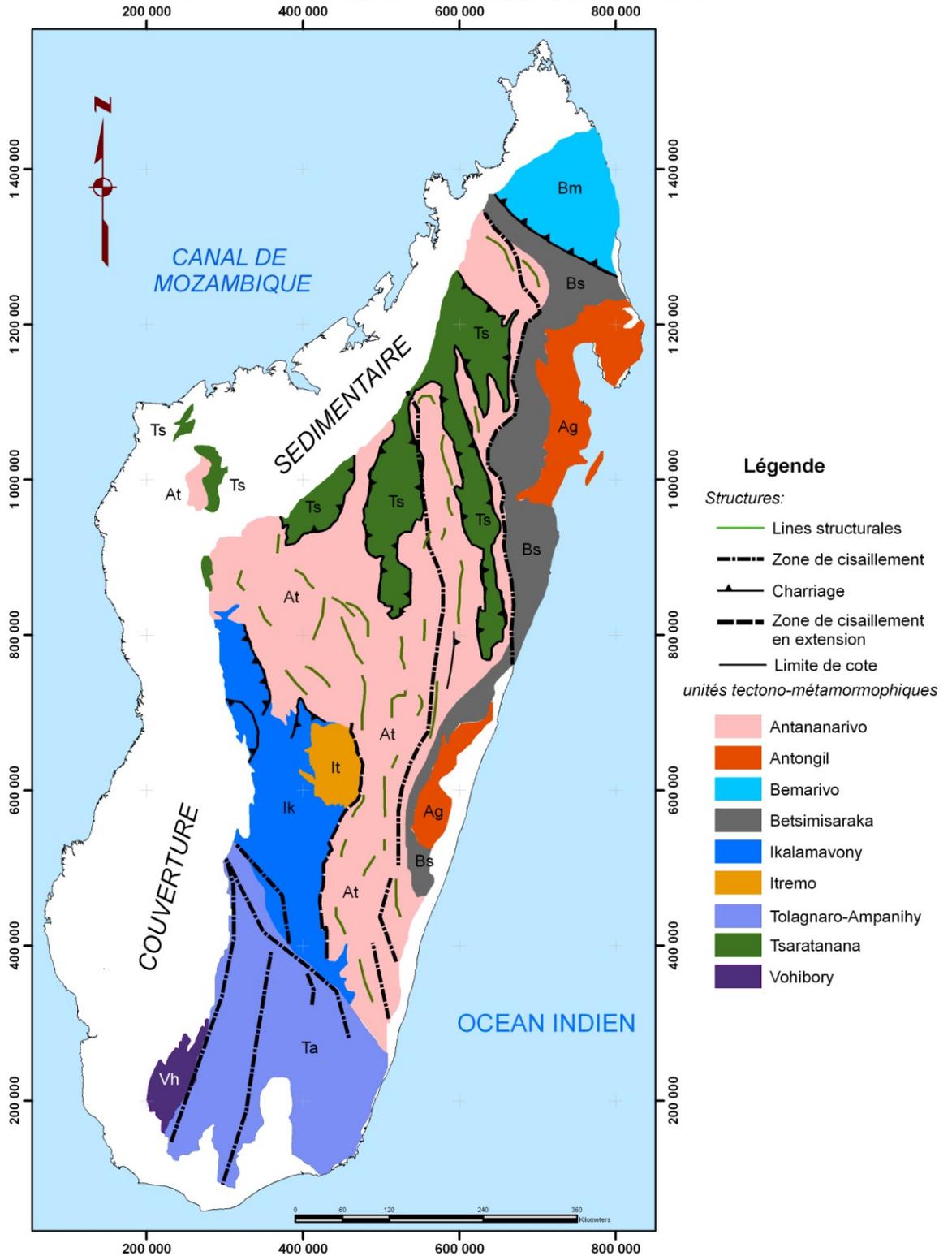


Figure 1 : Carte des unités tectono-métamorphiques du socle cristallin précambrien de Madagascar d'après Collins et al., 2002)

raccourcissement horizontal postérieur. Cette juxtaposition est responsable d'une déformation finie plano-linéaire très pénétrative D_2 à laquelle est associée une foliation majeure composite S_2 caractérisée par une parallélisation des surfaces lithologiques et par une ou plusieurs surfaces structurales (*Martelat et al., 1995*).

Dans le contexte régional, les zones de cisaillement de Ranotsara (direction NW – SE), Ampanihy et Beraketa (direction N – S) sont, de par leur envergure, considérées comme majeures. Plusieurs autres zones de cisaillement moins importantes de direction nord – sud sont rattachées à la structure de Ranotsara et qui sont au nord la zone de cisaillement de Zazafotsy et au sud celles d'Ejeda et de Tranomaro. Partout, au cisaillement est associé une foliation Nord – Sud, généralement verticalisée (plongeant 75 – 90°) avec une linéation d'étirement sub-horizontale et des structures mylonitiques ponctuelles. Les zones « inter-shear » sont structurées en dômes et bassins et sont marquées par des mécanismes de replissement de type II de plans axiaux de directions sécantes de différents plongements et de type III à plans axiaux de même direction mais de plongements différents (*Ramsay, 1967*).

Le Sud de Madagascar est formé d'une part, par les blocs de Taolagnaro-Ampanihy et de Vohibory situés au sud de la structure de Ranotsara et d'autre part, par le bloc d'Ikalamavony – Amborompotsy situé au nord de la structure de Ranotsara

- 1- **Les blocs de Taolagnaro – Ampanihy et de Vohibory:** Le bloc correspond au Système Androyen de Bésairie avec le groupe de base du système du graphite (groupe d'Ampanihy). Il est essentiellement formé de leucogneiss à platten quartz (leptynite) essentiellement paradérivé du Protérozoïque Inférieur. Une intense migmatisation avec des foyers locaux plus ou moins importants de granitisation a affecté la partie sud de Madagascar au 750 Ma. A cet événement est attribuée la formation des Chaînes Anosyennes de nature migmatitique avec plusieurs individualisations de granite et de charnockite. Un gradient de pression a été établi d'Est (12 kbars) en Ouest (4 kbars). Les assemblages minéraux sont anhydres dans la partie Est (les minéraux qui les composent sont cordiérite, orthopyroxène, corindon et plagioclase basique) et évolue vers la stabilité de l'amphibole vers l'Ouest. A cet événement sont rapportés les anorthosites en intrusions annulaires. Un second événement de granitisation au 550 Ma a été à l'origine de la genèse d'un skarn à uranothorianite dans la région de Tranomaro.

Sur le plan de la lithologie, les blocs de Taolagnaro – Ampanihy et de Vohibory sont caractérisés par une grande variété d'assemblages pétrographiques de formations archéennes et protérozoïques reprises par l'événement pan africain (*Pili et al., 1997*) essentiellement de leucogneiss à platten quartz avec des intercalations ferro-calco-magnésiennes et calco-magnésiennes, métamorphisés dans le faciès amphibolite supérieur au faciès granulite (*Windley et al., 1994*) dans les conditions de basse et de moyenne pression à haute température (750-1000° à 3-11 Kbar). Les formations géologiques peuvent être regroupées suivant trois groupes séparés entre eux par des zones de cisaillement et qui sont (i) un groupe de Vohibory constitué d'orthogneiss tonalitiques associés à des méta-ultramafites et des roches méta-volcaniques acides, (ii) un groupe Androyen formé de métapélite, des gneiss et quartzites à graphite, de l'anorthosite et méta-anorthosite exceptionnellement riche en manganèse et (iii) le groupe Anosyen avec des métapélites, calsilicates, des roches volcano-clastiques acides et des granito-monzonitiques à aspect charnockitiques.

Les blocs de Taolagnaro – Ampanihy et de Vohibory offrent un large éventail de possibilités minières avec les pierres, les minerais industriels et les roches d'usage ornemental. Sa structuration et les événements tectono-métamorphiques qui l'affectent favorisent de meilleures conditions de concentrations minérales et métalliques. Les mécanismes de mise en place et de concentration des diverses minéralisations sont effectivement contrôlés par des événements soit tectoniques soit métamorphiques soit la conjugaison des deux. La région est caractérisée par la minéralisation en phlogopite le plus souvent encaissée par les leucosomes des phases de fusion des événements de migmatisation et de granitisation ainsi qu'à la pegmatisation associée se mettant en place à la faveur des faiblesses des formations géologiques dues aux événements de cisaillement. La phlogopite constitue des concentrations d'importance minière et économique (*Windley et al., 1994*) dont certaines ont déjà été exploitées depuis la première moitié du 20^{ème} siècle. En raison du métamorphisme dans le faciès granulite et le rétro-morphisme local dans le faciès amphibolite qui l'ont affectée, la région a stabilisé diverses formes minérales du corindon, de la cordiérite, du grenat, ... qui peuvent présenter des formes gemmes dans des conditions de remobilisation fluide altérant associée à la tectonique qui auraient fait recirculer des éléments chimiques responsables des

diverses coloration. La fusion locale du marbre a également conduit à la formation ponctuelle de calcite à tourmaline (champs de Tranomaro et d'Anjamiary). Aux magmatismes sont à associer diverses minéralisations (les terres rares –monazite- associées aux minerais de titane –ferrotitane, rutil et ilménite- des Chaînes Anosyennes) et pierres d'ornementation (intrusions d'anorthosite -labradorite- de la zone de cisaillement d'Ampanihy). La skarnisation, notamment dans la région de Tranomaro a été à l'origine de la formation et de la concentration en uranothorianite et en wollastonite. L'uranothorianite offre plusieurs gîtes d'intérêt économique dont les plus importants (Ambindadrakemba, Marosohihy, Itakefa, Andranondambo, ...) ont été écrémés par le Commissariat à l'Energie Atomique dans les années 1960 et actuellement reproductés par Pan African Mining. , D'autres minéralisations sont typiques de la région sud telles que le charbon de la Sakoa au sud ouest de la région, les corindons gemmes dont saphir et rubis au sud, au sud est et au nord de la région, l'émeraude d'Ianapera se trouve dans la zone de cisaillement à cinématique dextre (Beraketa SZ), les sables noirs (ilménite) du sud est et du sud ouest, l'urano-thorianite, les bauxites et les tourmalines...

2- Le bloc d'Ikalamavony–Amborompotsy

Le bloc d'Ikalamavony-Amborompotsy a été antérieurement dénommé groupe d'Ikalamavony –Amborompotsy et compris comme étant l'équivalent abyssal de la nappe d'Itremo alors dénommée Série Schisto-quartzo-dolomitique et comprise comme étant constituée de formations de plateforme continentale stable. C'est un ensemble gneissique largement migmatisé et localement granité avec d'importants champs pegmatitiques associés essentiellement minéralisés en pierres fines et en métaux rares (champs d'Ikalamavony, de Malakialina, ...). La tendance actuelle est de fusionner le bloc d'Ikalamavony-Amborompotsy avec le bloc de Taolagnaro-Ampanihy et ce, en raison de la forte similarité des caractères géochimiques et pétrologiques ainsi que de déformation. Seuls les environs de Zazafotsy, inclus dans le bloc d'Ikalamavony-Amborompotsy, intéressent cette étude.

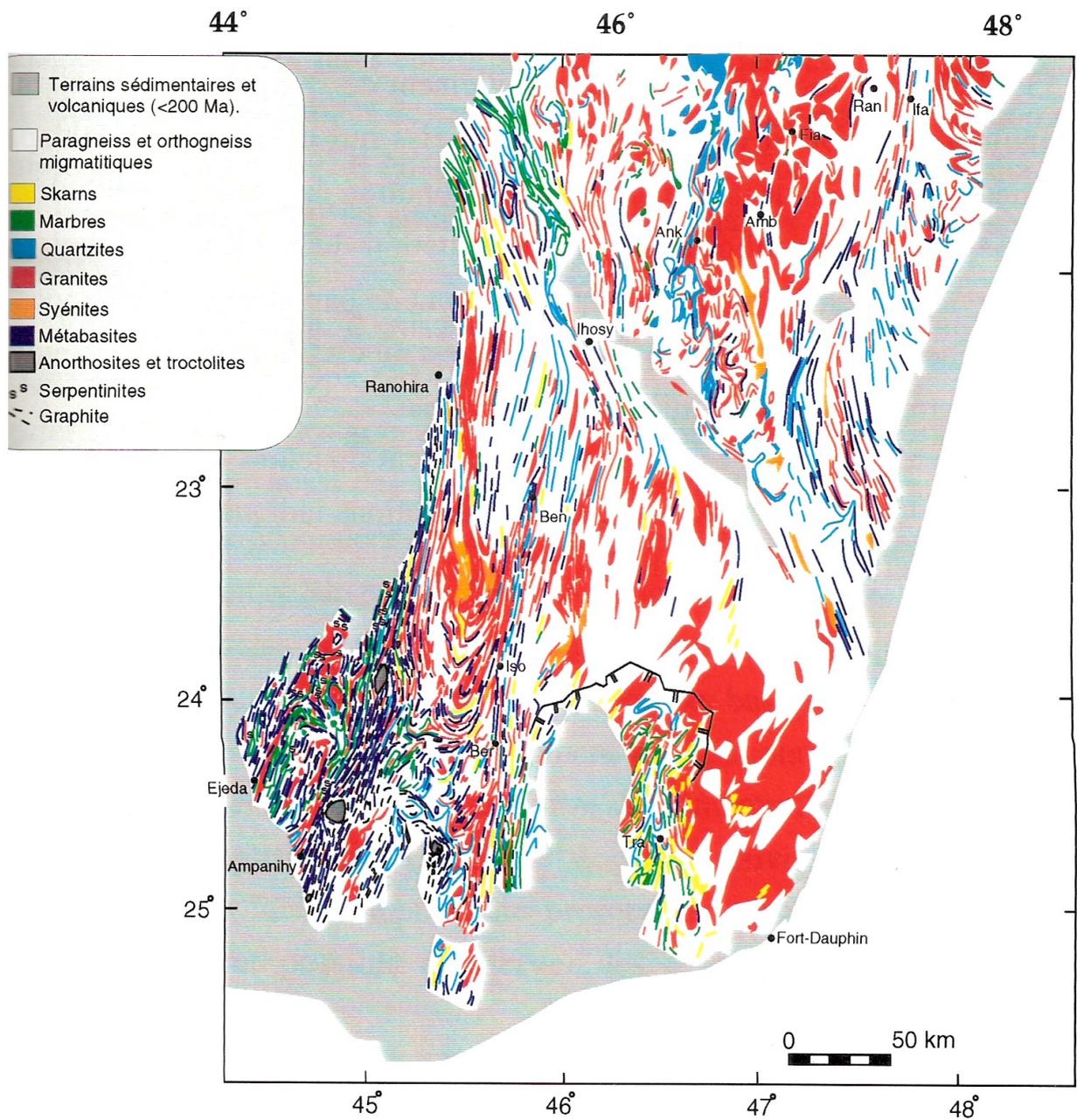


Figure 2 : Carte géologique du Sud de Madagascar selon Martelat, 1998

C- Géologie et minéralisation des domaines miniers de MTH

Pour une meilleure localisation des périmètres miniers objets de cette compilation, une identification en sept domaines miniers est proposé pour la suite (carte de la figure 3). Il sera alors cité :

- domaine minier A avec le permis minier n° 29221 ;
- domaine minier B avec le permis minier n° 29219 ;
- domaine minier C avec le permis n°10277 ;
- domaine minier D avec les permis miniers n° 29220, 3101, 19348, 29223, 29411, 29224, 10276, 4963, 3098, 1620, 3100, 4964, 5209 et 3099 ;
- domaine minier E avec le permis minier n°29413 ;
- domaine minier F avec les permis miniers n° 10294, 19349, 20784, 22101, 21753, 22102, 10253 et 29414 ;
- domaine minier G avec le permis minier n° 29412.

Ces domaines couvrent une superficie totale de 1800 km² dans les environs de Zazafotsy, Sahambano et Ranotsara et sont repérées dans une région plus vaste formée par l'assemblage de six coupures de cartes géologiques au 1/100 000 et qui sont les coupures L55 (Zazafotsy), M55 (Antamabohobe), L56 (Sahambano), M56 (Beadabo), MN57 (Iakora-Soakibany). Ils sont également repérable sur les images satellitales suivant les scènes LANDSAT TM7 n°15075 et 15076. (*Voir figure 3*)

La région est formée essentiellement d'un ensemble granulitique d'âge Archéen et Protérozoïque, constitué d'une succession de gneiss à grenat qui sont des gneiss leucocrates silico-alumineux constitués de quartz, feldspath potassique, plagioclase, biotite et du grenat, gneiss à cordiérite et à sillimanite, ce sont des gneiss alumineux dont la composition peut contenir également du spinelle, d'orthopyroxène et/ou du graphite , leptynite à cordiérite leucocrate à grain fin contenant de l'orthopyroxène, quartz essentiellement allongé et feldspath potassique, parfois porphyroïde avec des gros cristaux de feldspath potassique, et des migmatites avec des intercalations des orthogneiss granitiques massifs et en lame, des orthogneiss granitoïdes, pyroxénites, marbres, quartzites. Ces formations granulitiques sont intrudées par divers batholites de granite andringitréens porphyroïdes, de syénite et de basalte. (*figure 4 : carte lithologique*)

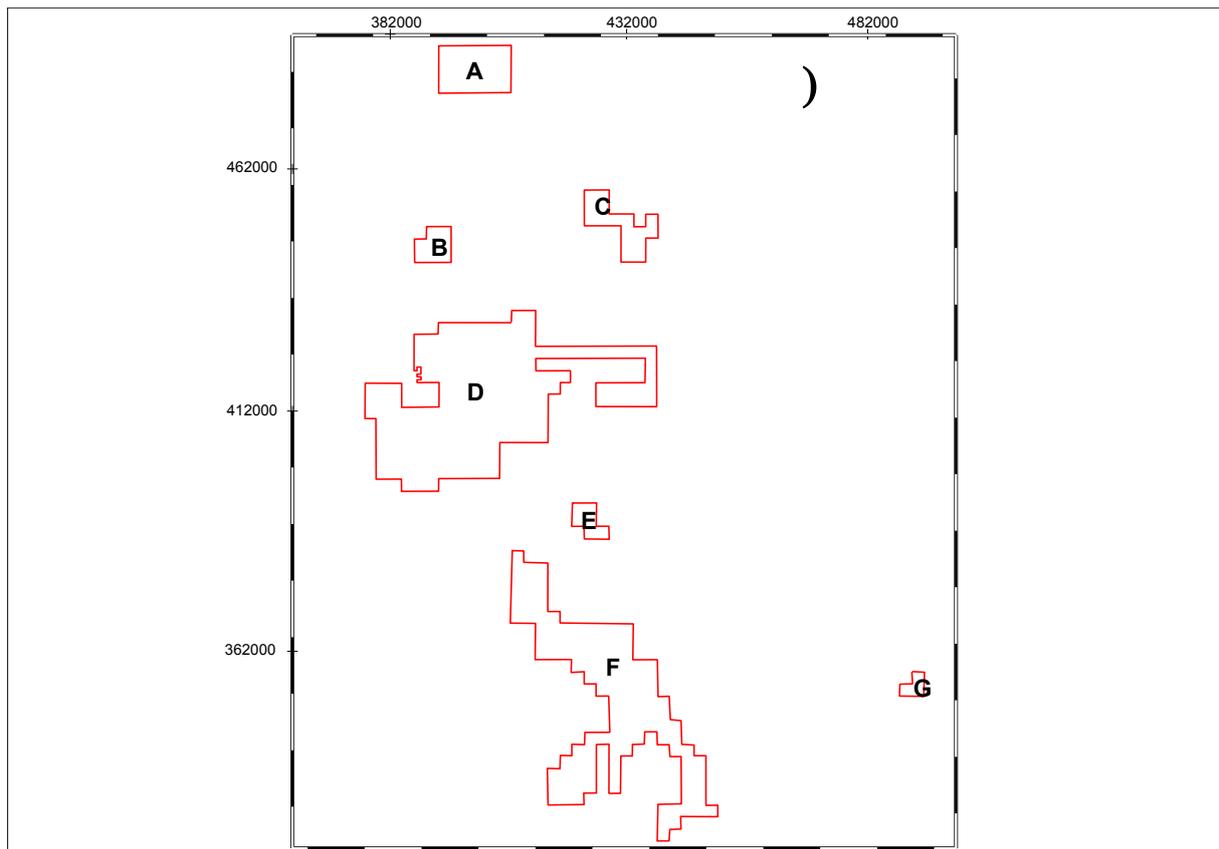


Figure 3 : Identification des domaines miniers

Sur le plan tectonique, la région est fortement déformée. En effet, et selon la littérature, la structure de Ranotsara est majeure (Windley et al., 1994 ; Martelat, 1998 ; Collins et al., 2000) et serait de nature cheveu- décrochante (Rolin, 1991). Ce schéma antérieur propose donc le chevauchement de la partie au sud de la structure de Ranotsara sur celle au nord de cette même structure.

Toutefois, et aux vues des images satellitales, la structure de Ranotsara ne serait majeure que par son envergure. On constate clairement qu'à la place d'une structure cassante matérialisée par le passage du linéament, il apparaît d'une manière nette que les trajectoires de la foliation dessinent une grande flexure régionale senestre des formations géologiques. Sous réserve de vérifications sur le terrain avec notamment relevés et mesures des éléments de la cinématique des déformations, la caractérisation par Martelat de cisaillement ductile trouve ici une probable autre signification et qui expliquerait également la proposition de Régnoult qui avait fait de la structure de Ranotsara un siège d'amortissement du poinçonnage de l'Afrique par le Dharwar lors de la construction du Gondwana. Les formations géologiques seraient soumises

à des couples de contraintes de raccourcissement Est – Ouest (Martelat, XX) provoquant une succession de flexures senestres méridiennes. Les zones de cisaillement décrites par les auteurs antérieurs correspondraient aux domaines d'ultime déformation de la flexion dans des conditions mixtes ductiles et fragiles. Ce mécanisme serait accompagné d'une verticalisation générale. (*voir Figure 5 : Image satellite*)

En dehors des zones d'ultime déformation, des domaines en dômes et bassins sont individualisées et qui en définitive pourraient correspondre à un replissement par un système postérieur à plan de charriage vertical d'un système antérieur à plan de charriage horizontal et tel que la direction de ces deux plans de charriage seraient au moins sécants suivant un angle oblique. L'évolution des figures de déformation matérialisées par les trajectoires des foliations permet de proposer un probable redressent du plan de charriage du plissement postérieur au fur et à mesure qu'on approche des domaines d'ultime de déformation (carte et figure + schéma interprétatif). En clair, on peut dégager trois domaines d'homogénéité structurale qui traduisent le comportement des formations géologiques en fonction de l'évolution de l'intensité des contraintes responsables de la flexion. Ce sont de l'Est vers l'Ouest : (i) un domaine d'homogénéité structurale 1 avec des trajectoires de la foliation en lignes fermées dessinant une figure géométrique en cercles concentriques en ovoïdes allongés Nord – Sud à Nord Est – Sud Ouest (modèle 5 de Ramsay), (ii) un domaine d'homogénéité structurale 2 avec des trajectoires de foliation dessinant des figures en champignon dont la convexité des « chapeaux » est tournée vers le NordNordOuest (modèle 8 de Ramsay) et (iii) un domaine d'homogénéité structurale 3 qui correspond à la zone d'ultime déformation où les trajectoires des foliations sont plus régulières globalement NordNordOuest – SudSudEst avec des lignes fermées dissymétriques étirées caractéristiques des plis déracinés.

(Fig 6 : carte de la trajectoire de foliation et domaines d'homogénéité structurale)

Par rapport à ces trois domaines d'homogénéité structurale, les domaines miniers de MTH sont comme suit localisés :

- **Domaine minier A** : localisé dans le domaine d'homogénéité structurale 1 ;
- **Domaine minier B** : localisé dans le domaine d'homogénéité structurale 2
- **Domaine minier C** : localisé dans le domaine d'homogénéité structurale 1
- **Domaine minier D** : les permis 10276, 29223, 29224 et 29411 sont localisés dans le domaine d'homogénéité structurale 1, les permis 29220, 3101, 19348, 4963, 3100 et

Figure 4 : Carte lithologique de la région de Zazafotsy et Sahambano, (Extrait de la feuille 9 au 1/500000)

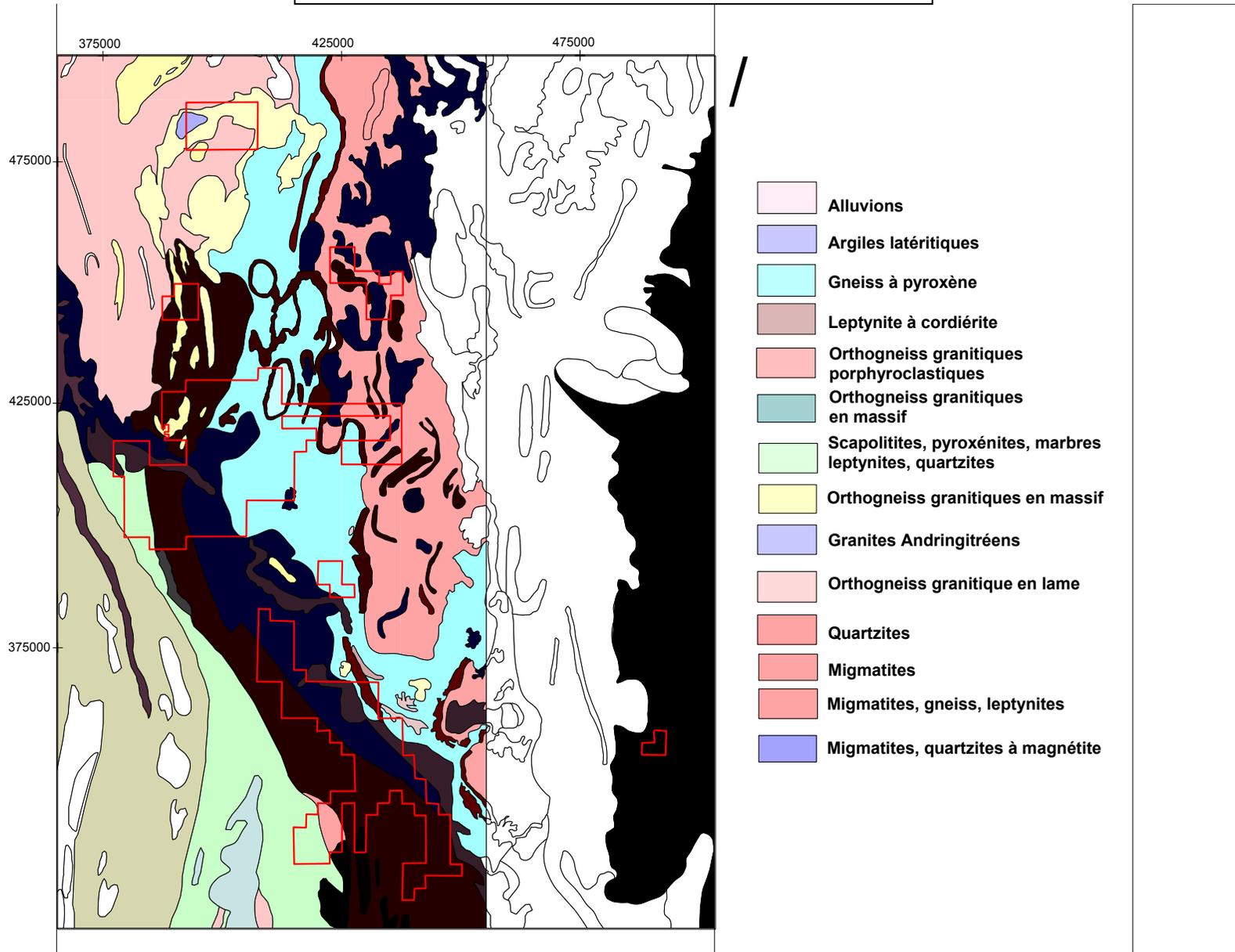
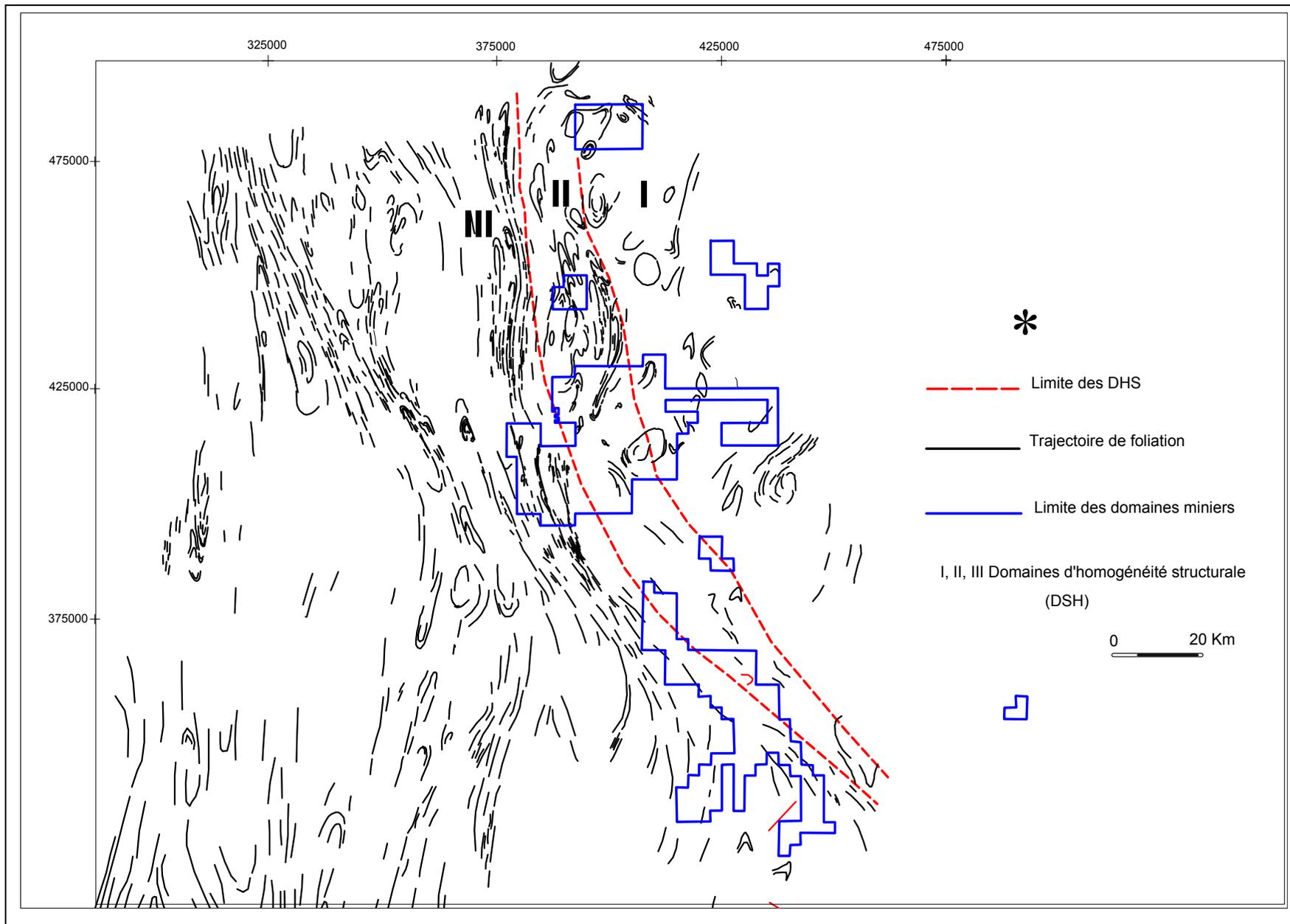


Figure 6 : Carte de la trajectoire de foliation relevée des images satellites et des domaines d'homogénéité structurale



- 4964 sont localisés dans le domaine d'homogénéité structurale 2 tandis que les permis 3098, 1620, 5209 et 3099 sont localisés dans le domaine d'homogénéité structurale 3 ;
- **Domaine minier E** : localisé dans le domaine d'homogénéité structurale 1 ;
- **Domaine minier F** :
- **Domaine minier G** :

Les données du SIGM (Système d'Information Géologique et Minière) du Service Géologique de Madagascar prêtent trop à confusion. **Plusieurs indices risquent de n'être que des indications lithologiques. On cite dans ces cas le graphite, cordiérite, grenat, sillimanite, ... Aussi, et pour minimiser les risques d'une évaluation erronée, n'avons-nous considéré que**

- **les indications fournies par les cartes géologiques au 1/100 000 du Service Géologique où ne sont reportées comme indices de substances utiles que les substances qui présentent une certaine anomalie de concentration même si elles caractérisent un niveaux lithologique ;**
- **les indications fournies par les travaux exploratoires de MTH.**

La juxtaposition de la carte de la trajectoire des foliations, la carte de la structure cassante, les limites des divers domaines miniers de MTH et le report des indications de minéralisations montre :

- 1- l'essentiel de la minéralisation est localisée dans les domaines d'homogénéité structurale 2 et 3
- 2- au sein du domaine d'homogénéité structurale 2, les indications de minéralisation sont localisées sur les flancs étirés des plis déracinés,
- 3- au sein du domaine d'homogénéité structurale 3 (zone d'ultime déformation), les indications de minéralisation sont localisées dans les lignes des foliations (celles observables sur les images satellitales, soit les plans majeurs de déformation).

D- Conclusions sur la compilation bibliographique sur la géologie des domaines miniers de MTH

1- Agencement des diverses composantes lithologiques entre elles

Quelque soit l'appartenance lithologique des différentes formations géologiques qui composent cette région, l'agencement final des diverses couches est contrôlé par la flexure. En effet, les formations géologiques sont disposées les unes à côté des autres,

allongées globalement Nord Nord Ouest – Sud Sud Est à Nord – Sud. Le long du tracé de la structure de Ranotsara qui est N140, les couches rendent compte de la flexure avec un étirement-amincissement. Les quartzites bordent les contacts du migmatite et sont d'une manière générale recoupants et dans ces derniers cas, ils soulignent fidèlement la foliation. Ils sont parfois associés à des lames de granite. Ces deux formations semblent être, à l'échelle régionale, les dernières formations à se mettre en place.

2- Modèles gîtologiques envisageables pour les indications de minéralisation

La localisation systématique des indications de minéralisation dans les lignes de déformation majeure traduites sous la forme de foliation visible sur les images satellitales les mettent tous très probablement en liaison avec une circulation de fluide à la faveur de ces déformations majeures. Toutefois, leur localisation sur les flancs étirés des plis déracinés du domaine d'homogénéité structurale 2 (flancs des plis antérieurs) permet de proposer un héritage structural : la circulation du fluide minéralisant s'était effectivement faite à la faveur des faiblesses associées aux déformations antérieures que le replissement postérieur a reconcentré par suite de fluage différentiel des minéraux tel que les éléments accessoires lourds auraient été évacués des charnières épaissies vers les flancs. L'absence (ou la rareté) des indications de minéralisation au sein du domaine d'homogénéité structurale 1 se révèle alors cohérent à ce modèle : l'intensité de déformation de replissement n'a généré que des plis en fourreau et n'a pas pu « éjecter » d'une manière différentielle les minéraux accessoires lourds. Les substances utiles seraient présentes mais pourraient être beaucoup plus en profondeur au niveau des pointes des fourreaux. En général, les minéraux des substances utiles sont des minéraux qui seraient néoformés lors d'un événement métamorphique (cordiérite, grenat, graphite, phlogopite, ...)

Certaines expressions de remobilisation sont à mettre sur le compte d'un métamorphisme postérieur au replissement car générant les formes de pegmatite sécantes (scheelite). *Figure 7 : carte de la minéralisation corrigée*

En annexe : 1- Carte de minéralisation juxtaposée avec la carte tectonique

2- Carte tectonique relevée des images satellites

Carte des indices de Minéralisation corrigés
 Modifiée à partir de la carte des indices au 1/500000 et de la carte géologique au 1/100000

