

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22

**GISEMENTS DE LITHIUM DE LA VALLEE DE SAHATANY –
PARTIE CENTRALE DE MADAGASCAR**

23 **Résumé**

24 Le lithium fait partie des éléments chimiques critiques pour la transition énergétique. Du fait
25 de son caractère hygromagmatophile, le lithium a une très forte affinité aux liquides résiduels
26 des phases les plus différenciées. En règle générale, les minéraux qui le collectent sont le
27 spodumène (ou triphane) qui est un pyroxène alcalin et sa variété rose (kunzite) ainsi que le
28 lépidolite.

29 Ces minéraux lithinifères étaient secondaires dans les pegmatites zonées sodolithiques du type
30 LCT (lithium – césium – tantalum) de la Vallée de la Sahatany qui ont été exploitées par des
31 unités artisanales ; lesquelles n'étant pas autorisées à faire usage ni des équipements motorisés
32 ni des explosifs. Les deux variétés du spodumène ont alors été rejetées si elles n'étaient pas des
33 gemmes et ceux du lépidolite s'ils ne répondaient pas aux spécificités du marché des micas.

34 Les pegmatites n'ont alors été exploitées que sur leurs parties altérées superficielles. L'intérêt
35 actuel pour le lithium oblige à reconsidérer les gîtes des pegmatites de la Vallée de la Sahatany
36 en vue d'une part, de recycler les déblais des exploitations antérieures et d'autre part, de
37 reprendre leur exploitation aux enracinements sains. Cette situation justifie la modélisation de
38 ce qui reste actuellement des pegmatites.

39 La cartographie géologique virtuelle par télédétection et une campagne de levés géologiques
40 sur terrain avaient permis de circonscrire les phases tectono – métamorphiques dont la phase
41 finale régionale D4 distensive et auxquelles aurait été associées des failles NW-SE qui auraient
42 servi de conduits puis de pièges aux liquides anatectiques granitiques générés. Cette dernière
43 phase aurait été achevée par un rétro-morphisme du faciès schiste vert.

44 **Mots clés** : lithium, sodolithique, hygromagmatophiles, liquides, pegmatites, Sahatany

45

46

47

Abstract

Lithium deposits in Sahatany Valley (Central part of Madagascar)

Lithium is one of critical chemical elements required by energy transition. Lithium is a hygromagmatophile alkali metal and has a very strong affinity for successive residual liquids in which its concentration goes higher and higher. Lithium is typically collected by spodumene and its pink variety (kunzite) as well as lepidolite.

These lithiniferous minerals were secondary minerals in sodolitic zoned pegmatites of Sahatany Valley from which they have been exploited by artisanal units without authorization to use explosives and mechanical equipments. The two spodumene varieties were rejected if they were not gems and those of lepidolite if they did not meet mica market specifications.

Pegmatites were then exploited only on their superficial altered parts. The current interest in lithium makes it necessary to reconsider the pegmatite deposits in Sahatany Valley with the view on a first hand, to recycle cuttings by previous mining and on a second hand, to expect their exploitation at next with non-altered parts in depth. It will be useful to model the remaining fresh pegmatite bodies.

Virtual geological mapping by remote sensing and on field geological surveys allowed to identify tectono-metamorphic phases, including D4 regional distensive phase that would form pipes and traps for liquids that would be generated granitic anatectic related phase. This last phase would have been completed by a greenschist facies retro-morphism.

Keywords : lithium, sodolithics, hygromagmatophiles, liquids, pegmatites, Sahatany

1- Introduction

Le changement climatique préoccupe le monde. Une situation qui ne présente que deux alternatives : l'adaptation ou l'atténuation de ce changement climatique. Les couches additionnelles de gaz à effet de serre d'origine anthropique contribuent à une intensification de la réflexion – réfraction des radiations entre la couche d'ozone et la surface de la terre, et fait augmenter d'une manière conséquente et significative la température à la surface de la Terre et au sein de laquelle l'épanouissement organique est autorisé. Les éléments chimiques à effets de serre font donc partie des multitudes causes du réchauffement de ladite couche habitable de la Terre. L'un des gaz à effet de serre est le dioxyde de carbone (CO_2) que principalement dégage la combustion des produits dérivés des hydrocarbures fossiles. Cette situation justifie alors le remplacement de l'énergie obtenue du crackage des hydrocarbures fossiles par d'autres sources d'énergie telle que l'énergie éolienne, la biomasse, ... La production, la gestion, la distribution et la consommation de ces énergies nouvelles requièrent toutefois de nouveaux matériaux à extraire des minéraux qui les auraient collectés. Le lithium est un des éléments chimiques stratégiques pour la transition énergétique et la production ainsi – que la consommation des énergies du futur. Le caractère stratégique de ces éléments chimiques viennent du fait qu'à l'avenir leur pénurie causerait des situations à conséquences incommensurables. Et ils sont également catégorisés d'éléments critiques.

Certains minéraux des pegmatites ont collecté le lithium et l'ont comme un des éléments chimiques qui les constituent et ce, à l'instar du spodumène (pyroxène alcalin : $\text{Li}.\text{Al}.\text{Si}_2\text{O}_6$) également appelé triphane s'il est de couleur jaune et kunzite s'il est de couleur rose et du lépidolite ($\text{K}[\text{Li}.\text{Al}].3[\text{Si}_2.\text{Al}]_4.\text{O}_{10}.[\text{Fe}.\text{OH}]_2$) qui est une variété de mica de couleur dans la gamme allant du rose au violet. Les pegmatites sont soit des liquides magmatiques résiduels individualisés aux termes de la cristallisation fractionnée soit des liquides de circulation portés à très hautes températures par des moteurs thermiques. Etant liquides, les pegmatites migrent

des zones de haute pression vers les zones de plus basses pression. La migration pourrait se faire dans les espaces générés par des accidents des édifices cristallins des matériaux géologiques où ils pourraient, au cours de leur migration, être piégés. Ces accidents peuvent être associés à des événements tectoniques.

Plusieurs champs pegmatitiques ont été cartographiés au sein du socle cristallin précambrien de Madagascar, les plus connus sont ceux de Malakialina (Domaine tectono-métamorphique d'Ikalamavony), de Mandoto et de la vallée de la Sahatany (Domaine tectono-métamorphique d'Antananarivo) (Bésairie, 1970 ; Razafiniparany, 1978).

Les pegmatites de la vallée de la Sahatany sont du type potassique et, en plus grand nombre, du type sodolithique (Lacroix, 1922 ; Ranoroso, 1986 ; Rakotovo, 2004), et qui ont comme minéraux secondaires la rubellite ($\text{Na}(\text{Li},\text{Al})_3\text{Al}_6[(\text{OH})_4(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}]$), le spodumène et le lépidolite qui sont des minéraux lithinifères. Ces pegmatites ont été localisées puis exploitées surtout à Ilapa et Ambatonapetraka (Rakotovo, 2004). Ces pegmatites sont exploitées de façon artisanale pour extraire divers minéraux pour gemmes, entre autres la rubellite. Actuellement, l'exploitation a pour objectif d'extraire les minéraux de lithium. L'exploitation est toujours de façon artisanale et ne s'adresse qu'aux parties superficielles altérées des pegmatites. L'objectif du présent article est de contribuer à une meilleure connaissance des gisements de lithium de la Vallée de la Sahatany. En d'autres termes, voir les modalités et les conditions de mise en place des pegmatites afin mieux appréhender les perspectives de l'exploitation de leurs restes qui ne seraient que les parties non altérées des pegmatites qui étaient alors hors de la portée des petits miniers et des artisans miniers.

2- Contexte général

Le socle cristallin précambrien de Madagascar est constitué par six domaines géologiques tectono-métamorphiques stables. Deux de ces Domaines sont divisés en sous-domaines (PGRM, 2012) : le Domaine de Bemarivo (le Sous-Domaine de Bemarivo Sud

chevauche le Sous-Domaine de Bemarivo Nord) et le Domaine d'Antongil –Masora à l'Est (divisé en Sous-Domaine d'Antongil et Sous-Domaine de la Masora), le Domaine d'Antananarivo au centre duquel est charrié le sous-domaine d'Itremo. Le complexe de Tsaratanana est également charrié sur le domaine d'Antananarivo. Le Domaine d'Amborompotsy à l'Ouest, la partie sud est constituée par le Domaine Anosyen – Androyen (constitué par le Sous-Domaine Anosyen et le Sous-Domaine Androyen) et le Domaine de Vohibory.

Contexte géologique de la zone d'étude

La Vallée de la Sahatany se trouve dans la région d'Ibity (Figure 1), qui appartient géologiquement au Groupe d'Itremo du Sous-Domaine d'Itremo. Le Groupe d'Itremo est le domaine d'affleurement de la série Schiste-Quartz-Calcaire (SQC) (Moine, 1974), associé à des gneiss et des diverses suites du type Ambalavao-Kiangara-Maevarano ainsi que la suite d'Imorona-Itsindro (PGRM, 2012).

Le Groupe d'Itremo aurait été affecté par deux événements de déformation (Ratefiarimino, 2004) dont le premier correspond à une importante phase magmatique à laquelle serait associée la mise en place de la Suite d'Imorona – Itsindro à laquelle seraient associées des pegmatites précoces (806-776Ma, Handke et al., 1999 ; PGRM, 2012). A cet événement s'associe une succession et juxtaposition de deux phases de plissement générant une structure finie du type 2 de Ramsay. La direction axiale est de NW-SE à N-S. La trajectoire de la foliation régionale varie du WNW – ESE à NE – SW. Suivie d'une autre phase de plissement de direction axiale E-W. Le deuxième événement aurait été une phase d'extension correspondant au relâchement des contraintes, favorisant la mise en place des granites (suite d'Ambalavao- Kiangara-Maevarano) et des pegmatites tardives (565Ma, Fernandez et al., 2000).

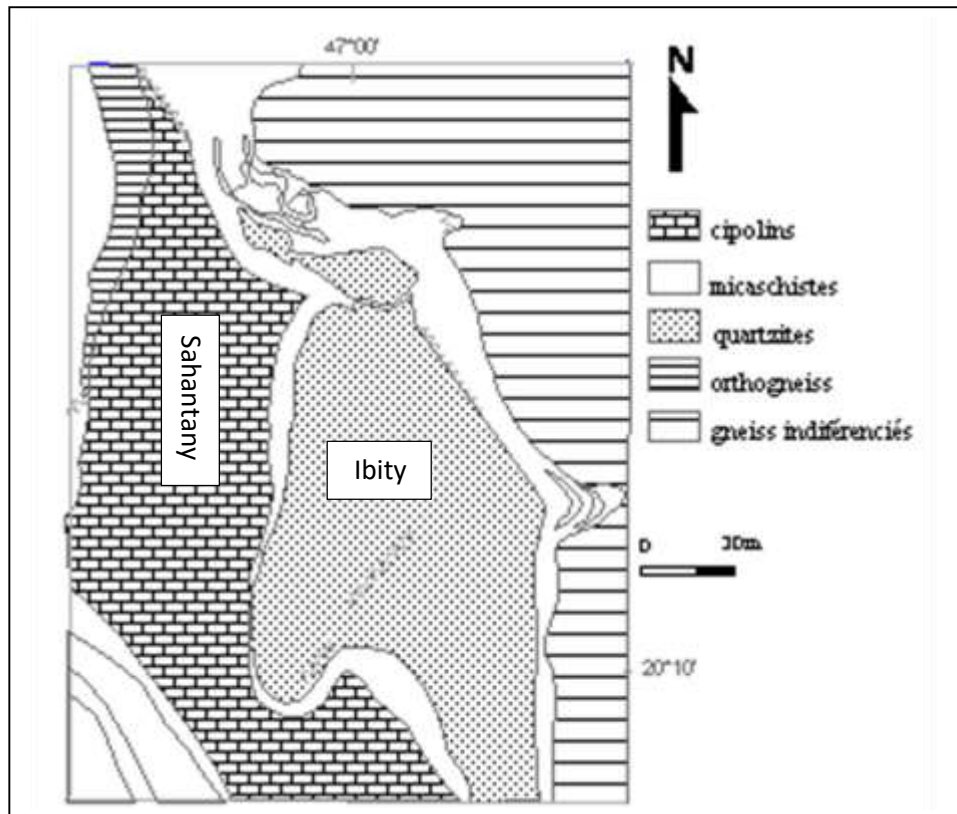


Figure 1 : Situation géologique de l'Ibity. Modifié à partir de la feuille Manandona au 1/100 000

Morphologiquement, La vallée de la Sahatany est une vallée méridienne à subméridienne (presque N-S), à des altitudes allant de 1450 mètres à 1324 mètres, tracée entre deux basses collines de quartzite, de fins lits de micaschiste à l'Est et d'une vaste étendue de roches calcaires à l'Ouest. La Vallée de la Sahatany est creusée dans des formations calcaires majoritairement dolomitiques. Les calcaires sont hétérogènes : à calcite, à biotite et à trémolite. Le calcaire dolomitique à calcite où la proportion de calcite peut dépasser celle de la dolomite. Le calcaire dolomitique à biotite présente parfois de zonation dont des zonations à biotite de couleur plus sombre et des zonations sans biotite plus claires. Le calcaire dolomitique à trémolite est localement à diopside, quartz et calcite (Ratefiarimino, 2004). Cette série de roches calcaires est aussi intrudée par des filons granitiques et essentiellement des pegmatites tardives.

Le premier type d'intrusion est un granite rose, grenu, massif, et qui, par endroit, a une texture pegmatitique avec des gros cristaux de quartz, d'orthose et de biotite. Au microscope, ce granite

a une texture équi-granulaire interlobée. Il est essentiellement constitué de quartz, très peu de micas (biotite et muscovite) et d'albite, à clivages orthogonaux et à extinction droite. Les minéraux constitutifs sont bien développés, sub-automorphes ou xénomorphes (Ratefiarimino, 2004).

Le deuxième type d'intrusion est constitué de réseaux des filons de pegmatites qui peuvent être sécantes ou conformes à la foliation. Deux générations de pegmatites ont intrudé la région d'Ibity, une génération précoce et déformée et une autre plus tardive et non-déformée (Ratefiarimino, 2004). Ces dernières intéressent cette étude. Elles sont très abondantes, et sont riches en gros cristaux de quartz, de feldspath (potassique et sodique) et de mica (lépidolite, biotite et muscovite). Des minéraux de tourmaline sont sporadiquement rencontrés.

3- Matériels et Méthodes d'étude

L'étude a été basée sur l'analyse de l'image satellitale basemaps NICFI-Planet en utilisant plusieurs compositions colorées, en couleurs naturelles et fausses images. Le traitement a été fait au moyen du logiciel ArcGIS. L'objectif est de dégager et comprendre les grandes lignes structurales et leurs agencements avec les diverses composantes lithologiques, afin de pouvoir repérer les affleurements de pegmatites et ainsi évaluer leurs extensions. Ainsi :

- La composition en RGB (Rouge-Vert-Bleu) a permis de relever les grandes lignes de déformation régionale : la trajectoire de la foliation ainsi que les déformations cassantes. Cette composition a permis l'établissement de la carte structurale de la Région d'Ibity.
- La composition colorée BRG (Bleu-Rouge-Vert) a permis de mettre en évidence et numériser les composantes lithologiques riches en quartz dont granites et quartzites.
- Les compositions RBG (Rouge-Bleu-Vert) et BGR (Bleu-Vert-Rouge) ont mis en évidence les roches calcaires.
- La composition colorée GRB (Vert-Rouge-Bleu) révèle les formations riches en micas : les micaschistes

- Les compositions colorées GBR (Vert-Bleu-Rouge) font apparaître les formations riches en feldspaths dont les pegmatites. Les pegmatites sont représentées par des intervalles de valeurs de teinte : R entre 800 à 870 ; B : 450 à 550 et G : 1090 à 1250.
- Ainsi, la carte lithologique de la Sahatany est établie à partir de la juxtaposition des couches résultant des plusieurs compositions colorées.

4- Résultats

De ses caractères physico-chimiques, l'élément chimique lithium est un des composants clés dans la fabrication des piles et batteries. Il présente des avantages écologiques certains. Le lithium, un élément résiduel faisant partie des alcalins rares qui existait depuis la naissance de l'Univers, se présente sous forme de sels ou d'oxydes dans les minéraux. Le lithium est l'élément le plus léger et le plus rare des alcalins.

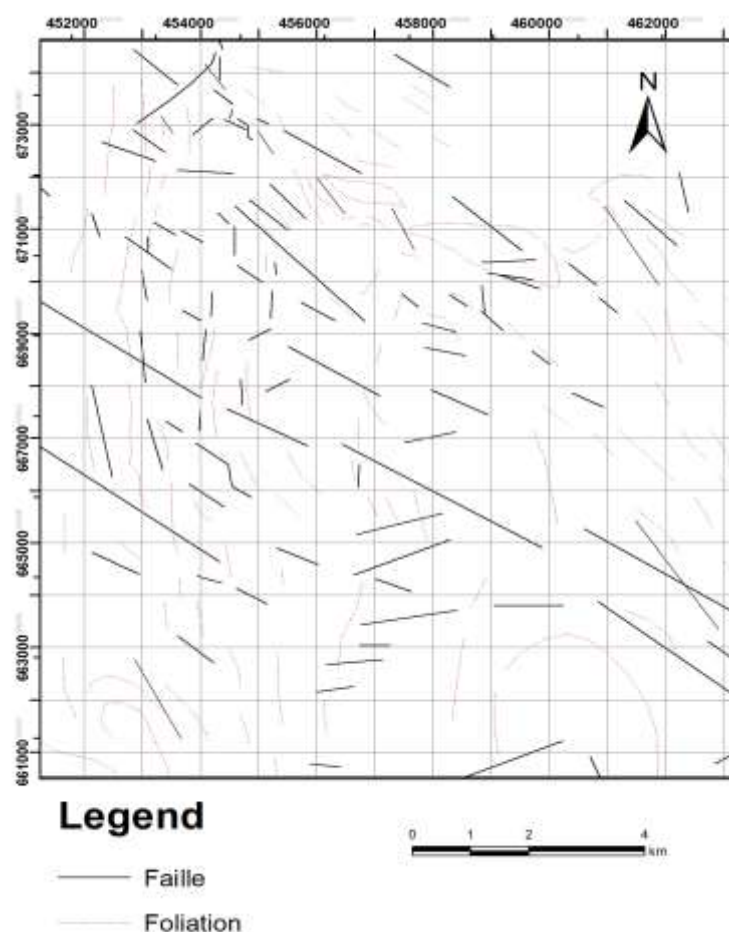
Il existe deux types de gisement de lithium : (1) les pegmatites où sa collecte par les liquides tardi-fractionnement successifs et au sein desquels sa concentration augmente progressivement résulte de son caractère d'hygromagmatophile, (2) le lithium est un élément très réactif avec l'eau et l'oxygène, favorisant ainsi la formation des gisements dans les saumures des lacs salés. Ceux de la Vallée de la Sahatany consistent en des pegmatites sodolithiques qui contiennent parmi ses minéraux secondaires, ceux qui sont riches en lithium dont essentiellement spodumène et lépidolite ; mais il existe aussi d'autres minéraux comme le schorl, l'elbaïte, le béryl, la cookéite, manandonite et lithiophillite (Ranorosa, 1986 ; Rakotovao, 2004).

La Vallée de la Sahatany est constituée essentiellement de calcaires dolomitiques (Ratefiarimino, 2004), de par la nature et la proportion de chacun des minéraux accessoires et localement deviennent des calcaires dolomitiques à deux micas (biotite et muscovite), trémolite, calcite et diopside. Ces minéraux accessoires sont des indicateurs des conditions thermodynamiques du métamorphisme (intensité). Ce métamorphisme est prograde allant du

223 faciès schiste vert au faciès amphibolite. Aussi, la Vallée de la Sahatany est-elle intrudée par
224 des granites roses et aussi des pegmatites tardives favorisées par D4.

225 **4-1 Grandes lignes structurales**

226 Dans la région d'Ibity, le Groupe d'Itremo présente une variation de la trajectoire de foliation
227 de direction E-W à NW-SE dans sa partie nord et de NNW-SSE à N-S dans sa partie centrale
228 et au sud (figure 2). Il est affecté par plusieurs événements de déformation dont une succession
229 des phases ductiles et des phases cassantes.



230

231 **Figure 2 : carte structurale de la région d'Ibity**

232 *4-1-1 Phases ductiles :*

233 Trois phases de plissement ont affecté la région d'Ibity. D1 et D2 sont une succession de deux
234 phases plicatives dont D2 est la plus importante et est définie la déformation finie. L'axe de pli

F1 est replissé par l'axe de pli F2, donnant ainsi la forme de croissant typique du type 2 de Ramsay. F2 est parallèle à la direction générale NNW-SSE à N-S de la foliation pénétrative S1/S2 qui s'associe à cette phase de plissement D2. S1, la foliation pénétrative rattachée à D1 est transposée par S2. S3 est la troisième phase de plissement D3, de direction axiale E-W. A cette phase D3 se joignent les boudinages quartziques de direction E-W de la partie nord de la région d'Ibity. La vallée de la sahatany présente une direction de foliation WNW-ESE à E-W dans sa partie Nord et de N-S dans sa partie Sud.

4-1-2 Phases cassantes :

Quatre directions majeures de déformation cassante ont été répertoriées. La plus importante en nombre et en envergure est la direction NW-SE, puis les directions N-S et ENE-WSW et très minoritaire la direction E-W (figure 2). La direction ENE-WSW correspond à la réponse rhéologique du massif quartzique face à un régime de compression responsable de la déformation D2, cette déformation cassante est donc syn-tectonique et est contemporain de D2. Celles de direction N-S sont interfoliaires, probablement associées au relâchement de contrainte de compression juste après la deuxième phase plicative, c'est une phase post-D2. D4 est une phase de distension associée aux relâchement de toutes les contraintes à laquelle s'associent les failles de directions NW-SE et E-W qui sont post-tectonique.

4-1-3 Conclusion partielle :

Deux événements de déformations E1 et E2 affectent la région d'Ibity. (1) E1 est le premier événement et comprend D1, D2 et post-D2. D1 est la première phase plicative suivie par D2, la deuxième phase de plissement, qui est la plus importante et définit la déformation finie de direction NNW-SSE à N-S. Cette phase est accompagnée d'une phase cassante ENE-WSW syn-tectonique. Les failles N-S sont post-D2, elles résultent de la phase de relâchement de contrainte. (2) E2 correspond à la zone de cisaillement affectant le Groupe d'Itremo, témoignant

d'un mouvement dextre. Cette zone de cisaillement est responsable de la déformation D3 dont la troisième phase de plissement de direction axiale E-W et les boudinages quartziques E-W. A cet événement E2 se rattache également D4, qui est la phase de distension découlant du relâchement de toutes les contraintes, générant ainsi les failles NW-SE et E-W.

La coexistence de biotite et muscovite, et l'apparition de diopside permettent de dire que la phase D2 s'est déroulée sous une condition schiste vert à amphibolite. Cette condition est maintenue durant D3 avec des phénocristaux de biotite tardifs indiquant les axes de plis F3.

4-2 Mise en place des pegmatites et minéraux lithinifères

La composition colorée GBR en fausse couleur permet de mettre en évidence les pegmatites (Figure 3). Ces pegmatites sont des liquides terminaux probablement associés à des granites tardifs, non déformés situés au N et NE de la vallée de la Sahatany. Elles sont composées essentiellement de quartz, orthose, albite et plusieurs variétés de micas et sont enrichies en des éléments résiduels tels que tourmaline (qui présente plusieurs variétés) et des éléments hygromagmatophiles (Be, B). Les minéraux de rubellite, spodumène, lépidolite qui se trouvent également en abondance dans la composition de ces pegmatites lesquels sont très enrichis en élément lithium.

Le spodumène est un clinopyroxène alcalin où la stabilité pourrait se faire suivant deux conditions thermodynamiques différentes. Le spodumène primaire se stabilise à 500-650°C et 3–5 Kbar (London et al., 1982) tandis que la formation du spodumène secondaire, au sein des cavités myarolitiques se fait à plus basse température et pression (400- 500°C à 2-3 Kbar). Sa formation aurait été conditionnée par le déroulé d'une substitution de $(\text{Fe}, \text{Cr})^{3+}$ par Al^{3+} (London, 1984). Les deux cas seraient possibles pour le cas des pegmatites de la Sahatany où les encaissantes ont subi un métamorphisme du faciès schiste vert à amphibolite. Cette phase aurait été en équilibre avec la formation du magma granitique à l'origine des pegmatites. Lors de la dernière phase de déformation D4, il y aurait probablement eu une phase rétrograde

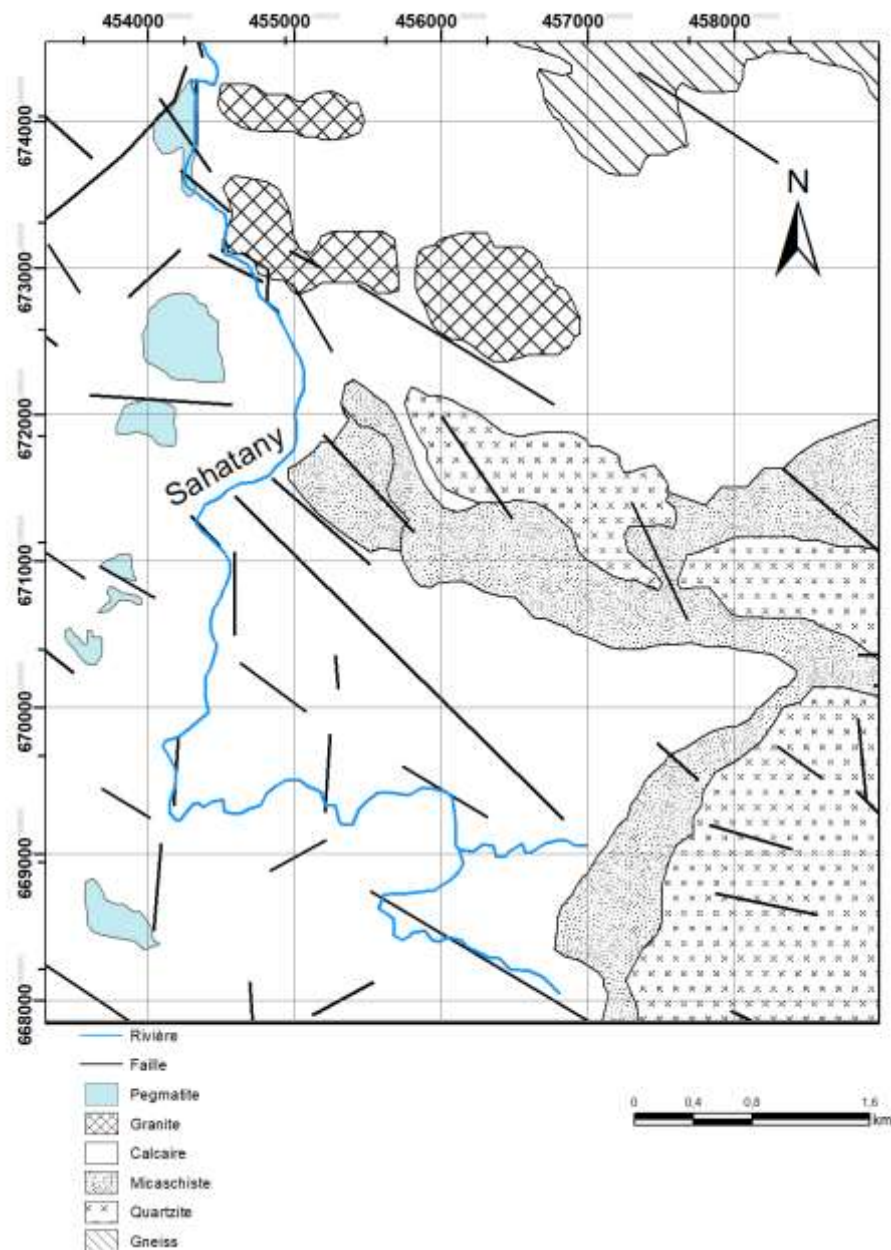


Figure 3 : le champ de pegmatite dans la Vallée de la Sahatany

à faciès schiste vert. Le lépidolite, comme étant une variété de mica, qui se forme aux dépens de la biotite et/ou de la muscovite et en présence de l'élément lithium, sa formation serait possible dans les conditions du faciès schiste vert (450- 500°C à 2-3 Kbar). Les autres minéraux à lithium (rubellite, elbaïte...) se seraient formés dans des conditions situées entre les conditions extrêmes.

Ces pegmatites sont exploitées depuis longtemps pour des minéraux des pierres semi-précieuses : béryl, rhodizite, grenat et des variétés de tourmaline (schorl, rubellite, dravite ...). Actuellement, l'exploitation n'est plus uniquement orientée vers les pierres mais beaucoup plus pour extraire les minéraux stratégiques dû au fait qu'ils sont riches en lithium dont le lépidolite. L'exploitation est toujours artisanale qui ne s'intéresse qu'aux parties superficielles.

5- Discussions

Le lithium est un élément chimique hygromagmatophile. Cet élément chimique aurait donc tendance à se concentrer dans les liquides résiduels successifs de la cristallisation fractionnée et enrichir les liquides tardifs dont les pegmatites. L'élément lithium possède deux isotopes ${}^7\text{Li}$ et ${}^6\text{Li}$ où ${}^7\text{Li}$ est l'isotope le plus abondant (92,5 %). Le fractionnement de ces isotopes du lithium concorderait avec l'augmentation du degré de différenciation magmatique (Teng et al., 2006a ; Tomascak et al., 1999) et ne se serait pas faite à haute température ($> 600^\circ\text{C}$) (in Deveaud, 2015). Ainsi, en phase fluide, la substitution du Mg par Li dans des sites cristallins octaédriques est isotopiquement plus légère que le Li dans le site tétraédrique (Teng et al., 2006b), aussi ${}^6\text{Li}$ occupe de préférence le site octaédrique tandis que ${}^7\text{Li}$ préfère le site tétraédrique. Ça aurait été le cas des pegmatites sodolithiques de la Sahatany. Les phases tectono-métamorphiques du faciès schiste-vert au faciès amphibolite de la zone concernée aurait généré des liquides granitiques où la consolidation aurait généré des granites roses à orthose, albite et micas (biotite, muscovite) à grain moyen et qui, par endroit, sont à gros grain et à albite et biotite (Ratefiarimino, 2004). Ces granites sont non-déformés et affleurent en boules et/ou en massif au Nord et au Nord-Est de la vallée, d'âge probable 565 Ma (Fernandez et al., 2000). Les deux types de pegmatites potassiques et sodolithiques auraient provenu de la cristallisation du granite à deux micas. Ainsi, les pegmatites à lithium constituent la phase ultime de la cristallisation fractionnée (London et al., 1982). Elles sont plus évoluées et se trouvent plus éloignées (de 200 mètres à 4000 mètres) des granites. Plus les liquides

pegmatitiques sont loins des granites sources plus ils sont enrichis en éléments rares et volatils qui sont, entre autres, H₂O (Deveaud, 2015). L'élément Li se combine avec les aluminosilicates pour former des minéraux porteurs dont le lépidolite et le spodumène.

Les pegmatites à Madagascar se forment à 8 à 12 Km de profondeur. Les failles NW-SE à E-W, associées à la phase de déformation D4 auraient servi de conduits pour la migration des liquides des granites vers les lieux de leurs pièges où ils auraient cristallisé en profondeur que l'érosion aurait par la suite permis leur remontée en sub-profondeur et en surface. Il s'agirait de liquide moins visqueux que son ascension ne serait possible qu'en présence d'un système de fracture en régime distensif. D'après London (1984), l'association minérale d'une roche encaissante en équilibre avec un magma riche en lithium indique un faciès schiste vert supérieur au faciès amphibolite inférieur, au voisinage du point triple des aluminosilicates. Le champ de pegmatites de la Vallée de Sahatany représente à peu près, en totalité, 5573 m² de surface des pegmatites, estimation obtenue de la numérisation des images satellitales. Par ailleurs, l'observation sur le terrain a permis de dire que seulement le quart (¼) de cette surface a été exploité actuellement. Les exploitations sont faites de façon artisanale en général, mais il existe déjà des exploitants qui utilisent des équipements mécaniques et motorisés.

6- Conclusion

L'exploitation des pegmatites lithinifères de la vallée de la Sahatany a actuellement regagné en vitalité. Malheureusement, elle est restée artisanale du fait que l'absence de toutes données et informations d'ordre scientifique sur les potentiels résiduels n'incite pas les intérêts industriels pour la Vallée de la Sahatany et ses probables minéralisations en éléments chimiques critiques.

La numérisation des images satellitales à haute résolution a permis de donner une aire estimée à 5573 m² de pegmatites. La réflexion concernant les événements tectono-métamorphiques a emmené à une conclusion que la formation de magma granitique aurait été en équilibre avec les différents faciès métamorphiques (phase faciès schiste vert à amphibolite) durant D3 et D4

342 favorisant la stabilité du spodumène ainsi que le lépidolite et également d'autres minéraux
343 lithinifères.