

Koninklijke Academie voor Overzeese Wetenschappen
Klasse voor Natuur- en Geneeskundige Wetenschappen, N.R., XVIII-6, Brussel, 1972

Matériaux pour l'établissement
des types et de la zonéographie
des pegmatites granitiques
à métaux rares de Madagascar - 1971

PAR

N. VARLAMOFF

Ingénieur civil des Mines
Ingénieur Géologue
Correspondant de l'Académie

300 F

Académie royale des Sciences d'Outre-Mer
Classe des Sciences Naturelles et Médicales, N.S., XVIII-6, Bruxelles 1972

Koninklijke Academie voor Overzeese Wetenschappen
Klasse voor Natuur- en Geneeskundige Wetenschappen, N.R., XVIII-6, Brussel, 1972

Matériaux pour l'établissement
des types et de la zonéographie
des pegmatites granitiques
à métaux rares de Madagascar - 1971

PAR

N. VARLAMOFF

Ingénieur civil des Mines
Ingénieur Géologue
Correspondant de l'Académie

Académie royale des Sciences d'Outre-Mer
Classe des Sciences Naturelles et Médicales, N.S., XVIII-6, Bruxelles 1972

Mémoire présenté à la Séance du 25 mai 1971

D/1972/0149/4

RESUME

L'auteur définit d'abord la nature des pegmatites dont il entreprendra la description et la classification; il donne ensuite un court résumé de l'historique du développement des études des champs pegmatitiques de Madagascar. Après avoir résumé l'essentiel des connaissances acquises sur les types des pegmatites et sur leur zonéographie, il passe en revue les différentes classifications déjà établies pour les pegmatites de Madagascar et propose d'adapter une classification basée à la fois sur les minéraux typomorphes et sur leurs structures internes. Il décrit les itinéraires à travers les plus importants champs pegmatitiques à métaux rares de Madagascar.

Partant de ces descriptions, l'auteur établit la classification des types de pegmatites observés, établit les relations entre les pegmatites de différents champs pegmatitiques de la Grande Ile et compare les observations obtenues à Madagascar avec celles recueillies en Afrique. Suite à ces comparaisons, il conclut qu'à Madagascar l'évolution des types de pegmatites à partir des granites est fort semblable à celles que l'on peut observer en Afrique. Les pegmatites montrent à Madagascar, comme ailleurs et notamment en Afrique, des relations avec les granites et ne dérivent nullement des processus métamorphiques et notamment de la dernière « ressuée » des migmatites des géologues de Madagascar. Les granites comme les pegmatites sont post-métamorphiques et post-tectoniques, ils ont été mis en place assez longtemps après que les roches encaissantes se sont refroidies, ont perdu leurs propriétés essentielles de plasticité et sont passées dans une zone où la fracturation était possible, où le maintien de fractures ouvertes était réalisable, et où avaient cessé tous les mouvements de fluage permettant la cristallisation des perthites et des béryls de dimensions gigantesques.

Les types de pegmatites définis permettront l'établissement de zonéographies des différents champs pegmatitiques et assureront une meilleure organisation de recherches pour tel ou tel type particulier.

SAMENVATTING

De auteur stelt vooreerst de aard vast van de pegmatieten. Hij vat het essentiële samen van wat wij weten over de typen van pegmatieten en hun zoneografie, onderzoekt de verschillende reeds opgemaakte klassificaties voor de pegmatieten van Madagascar, en stelt een klassificatie voor gesteund zowel op de typomorfische mineralen als op hun inwendige structuren.

De auteur stelt de klassificatie op van de onderzochte typen pegmatieten en legt de verhoudingen vast tussen de pegmatieten der verschillende pegmatietenvelden van het grote eiland. Hij vergelijkt de vaststelling voor Madagascar met deze voor Afrika. Zijn besluit is dat de evolutie der typen pegmatieten van Madagascar, vanaf de granieten, sterk overeenkomt met wat men in Afrika kon vaststellen.

De beschreven pegmatieten zullen het mogelijk maken tot een zoneografie te komen van de verschillende pegmatieten-velden, en aldus de opzoekingen vergemakkelijken voor de afzonderlijke typen van pegmatieten.

I. INTRODUCTION

A Madagascar les granitoïdes ont probablement eu des origines diverses; ils se sont formés ou mis en place et cristallisé à des profondeurs différentes et dans des conditions de tectonique et de température variées. Il en est de même des cortèges filoniens qui les ont accompagnés. Aussi, avant de décrire les pegmatites convient-il de préciser à quel groupe de granitoïdes ils appartiennent.

Les auteurs soviétiques (V.V. ARKHANGUELSKAÏA, A.I. GUINSBURG, I.V. DAVIDENKO et G.G. RODIONOV, 1964) distinguent quatre groupes de granitoïdes, correspondant à des profondeurs et à des conditions de mise en place distinctes. Chacun de ces groupes est accompagné de diverses associations de types de pegmatites. Ils classifient les granitoïdes comme suit:

— Granitoïdes de très grandes profondeurs (plus de huit kilomètres): syntectoniques, mis en place pendant le stade d'ultramétamorphisme (faciès granulitique); accompagnés des pegmatites dont certaines sont caractérisées par l'abondance de minéraux de terres-rares;

— Granitoïdes de grandes profondeurs (six à sept kilomètres): syntectoniques, mis en place pendant le stade de métamorphisme régional donnant le faciès staurotide-andalousite, auxquels sont associées les pegmatites à muscovite industrielle;

— Granitoïdes de profondeurs moyennes (quatre à six kilomètres): généralement post-tectoniques, intrudés dans les roches subissant un métamorphisme régional produisant le faciès cordiérite-antophyllite-schistes tachetés, autour ou dans lesquels se disposent des pegmatites dont certains types à minéraux de métaux rares tels que tantalites, columbites, cassitérite, wolfram, microlite, béryl, spodumène, amblygonite, lépidolite, etc.;

— Granitoïdes de faibles profondeurs (deux à quatre kilomètres): post-tectoniques intrusifs dans des roches ayant subi le métamorphisme présentant le faciès séricite-chlorite, dans les-

quels se disposent des pegmatites à géodes et à cavités contenant de beaux cristaux de quartz, de fluorine, etc. de qualité optique.

Il est probable qu'à Madagascar on peut trouver les quatre groupes de granitoïdes, cependant, l'auteur a étudié principalement les granitoïdes accompagnés de pegmatites à métaux rares du troisième groupe.

Les observations principales ont été faites à l'occasion des consultations réalisées par l'auteur pour le compte du Bureau Minier de la France d'Outre-Mer en 1956 et en 1957 et à l'occasion du dépouillement d'une abondante documentation.

Les visites des nombreux et importants champs pegmatitiques ont été faites sous la conduite des spécialistes des pegmatites de Madagascar: J. GUIGUES et P. GIRAUD auxquels l'auteur tient à exprimer sa reconnaissance pour l'aide apportée et les nombreux échanges de vue.

Ces observations ont été complétées au cours d'autres visites qui se sont échelonnées de 1965 à 1971.

Dans ce mémoire, l'auteur, tient à préciser ses vues sur les types de pegmatites à métaux rares de Madagascar, sur leur zonéographie ainsi que sur leurs relations avec les granitoïdes. Ces vues peuvent parfois s'éloigner sensiblement de celles des géologues de Madagascar qui attribuent l'origine de toutes les pegmatites à l'action du métamorphisme et de la migmatitisation.

Durant la dernière guerre et l'après guerre, l'intérêt pour les pegmatites a été suscité par l'espoir d'y localiser des minéraux stratégiques; quant aux progrès réalisés dans leur étude, ils ont été imposés par des impératifs d'ordre économique: limiter les travaux de prospection aux surfaces et aux volumes pouvant présenter un intérêt industriel.

Les problèmes ont été différents suivant les pays et les continents. En Amérique du Nord, comme en Union Soviétique et en partie à Madagascar, la localisation des corps pegmatitiques était connue depuis longtemps, souvent leur minéralogie était également établie; le géologue devait indiquer au prospecteur et à l'exploitant, dans les pegmatites, les zones favorables à la concentration de tel ou tel minéral recherché pour son intérêt stratégique ou économique. De ces préoccupations sont nées les études sur les structures internes des pegmatites (« internal zoning »

des auteurs américains). Ces études ont abouti à la publication par E.N. CAMERON, R.H. JAHNS, A.H. McNAIR et L.R. PAGE (1949) du fameux travail sur la structure interne des pegmatites granitiques qui fera certainement date. En Afrique, peu de filons pegmatitiques étaient connus, il fallait d'abord découvrir les champs pegmatitiques et, dans leurs limites, déterminer les types de pegmatites pouvant présenter un intérêt économique ou stratégique; cette nécessité a orienté les recherches vers les études des répartitions des divers types de pegmatites autour des massifs granitiques et la publication des travaux relatifs à la zonéographie des champs pegmatitiques tels que ceux de T.W. GEVERS (1936), de R. JACOBSON et J.S. WEBB (1946), de N. VARLAMOFF (1948-1969), de D. SOULÉ DE LAFONT (1958) et de H. ADAM (1969).

On peut affirmer sans se tromper de beaucoup qu'à l'origine, les études des structures internes des pegmatites ainsi que celles de leur zonéographie et de l'habilité des granitoïdes à produire différents ensembles de pegmatites se basaient beaucoup plus sur l'observation directe des faits sur le terrain et sur la statistique de ces observations plutôt que sur les théories relatives aux origines magmatiques ou autres des pegmatites et des granites.

Les structures internes des pegmatites, la zonéographie des pegmatites ainsi que la spécialisation des granitoïdes, sont en eux-mêmes des faits accessibles à l'observation et leurs études peuvent être envisagées sans devoir recourir à l'une ou l'autre des théories qui, pour le moment, dominent l'opinion des géologues de divers pays. Il est cependant incontestable que l'ensemble des données statistiques sur les structures internes et sur les répartitions spatiales des types de pegmatites peuvent servir de base objective pour l'examen de la valeur des hypothèses et des théories qui, obligatoirement, devront s'adapter aux faits établis par la statistique. Mais les faits resteront toujours des réalités et pendant longtemps encore, probablement, les théories resteront des théories et les hypothèses resteront des hypothèses sujettes à des révisions et à de constantes réadaptations.

Il est donc possible de faire des travaux sur la structure interne et sur la répartition spatiale des pegmatites ainsi que sur la spécialisation des granitoïdes tout en restant dans la stricte objectivité; il est possible aussi de faire appel à telle ou telle hypo-

thèse ou théorie pour expliquer l'ensemble des observations tout en séparant bien les faits concrets qui sont des réalités, des théories ou des hypothèses qui sont des jeux de l'esprit dans lesquels l'imagination peut avoir une part prépondérante.

Certes, les pegmatites avaient attiré l'attention des géologues et des minéralogues depuis longtemps, mais pendant la guerre et l'après guerre, les pegmatites de toutes les parties du monde ont été intensément étudiées pour leur contenu possible en matériaux stratégiques. Comme le faisait remarquer R.H. JAHNS (1955, p. 1 031) c'est pendant cette période qu'a été publié le plus grand nombre d'études sur les pegmatites.

Les principaux champs filoniens à métaux rares de Madagascar ainsi que leur cadre géologique seront décrits séparément; leurs relations avec les massifs granitiques seront discutées dans

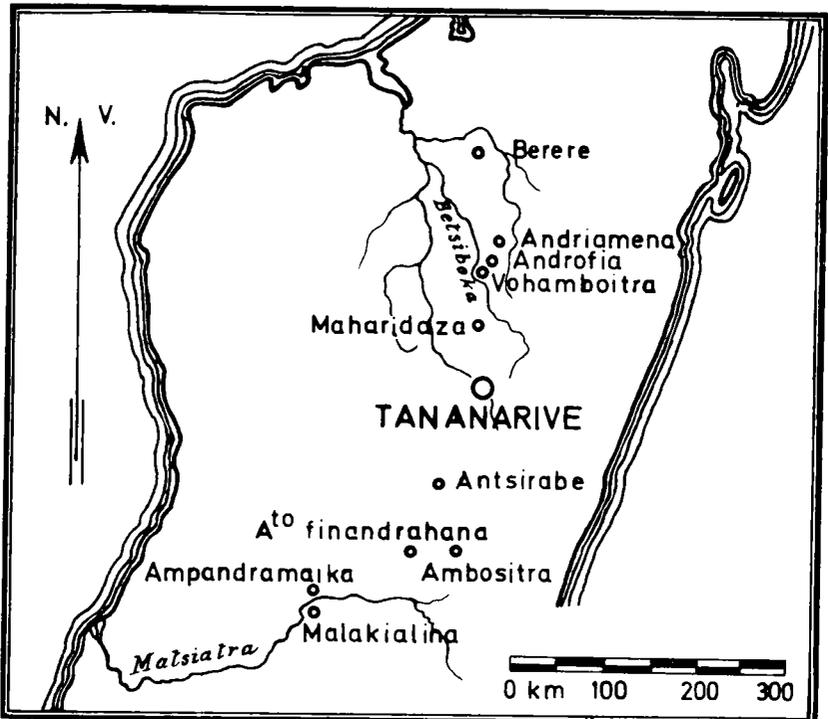


Fig. 1. — Carte schématique montrant la localisation des champs pegmatitiques de Madagascar.

chaque cas particulier. L'auteur examinera particulièrement les champs pegmatitiques d'Ampandramaika-Malakialina, de Berere et de la vallée de la Sahatany. Les champs pegmatitiques d'Androfia et de Maharidaza (Betsiboka) ne seront mentionnés que brièvement. On trouvera sur la *fig. 1*, la localisation des principaux champs pegmatitiques de Madagascar.

En terminant cette introduction, l'auteur, tient à remercier particulièrement la Société Belge de Recherches Minières en Afrique au service de laquelle il a passé plus de vingt ans et qui lui a permis de parcourir une grande partie du continent africain; il tient aussi à exprimer sa gratitude aux Directeurs du Bureau Minier de la France d'Outre-Mer: Messieurs R. VIGIER et G. ARNAUD qui lui ont confié de nombreuses missions en Afrique et à Madagascar, missions qui lui ont permis de visiter de nombreux champs pegmatitiques et notamment ceux de Madagascar. Une aide inestimable a été donnée à l'auteur par le Chef du Service Géologique de Madagascar H. BESAIRIE et son adjoint R. LAUTEL ainsi que par Messieurs J. GUIGUES et P. GIRAUD; il profite de cette occasion pour leur exprimer encore une fois sa profonde reconnaissance. L'auteur tient tout particulièrement à remercier Madame Paule VARLAMOFF pour l'aide apportée dans la rédaction de ce mémoire ainsi que pour la prise des photographies qui l'illustrent.

II. HISTORIQUE DU DEVELOPPEMENT DES ETUDES ET DES IDEES RELATIVES AUX PEGMATITES DE MADAGASCAR

Les études des pegmatites de Madagascar ont suivi l'évolution générale des idées au sujet des pegmatites:

— études axées essentiellement sur l'établissement de la minéralogie;

— études de la structure interne des corps pegmatitiques que les auteurs américains appellent: « internal zoning »;

— études des types de pegmatites et de leur répartition régionale et spatiale que l'auteur a dénommées « zonéographie » et que les auteurs de langue anglaise désignent sous le nom de « regional zoning ».

Tout d'abord, suite à des travaux qui s'étendent sur un quart de siècle, A. LACROIX (1922-1923), publie son magistral ouvrage, « Minéralogie de Madagascar ». Cet ouvrage est, en grande partie, consacré à la minéralogie des pegmatites de la Grande Ile. La beauté des cristaux provenant des pegmatites de Madagascar fut à la mesure du savoir et de l'enthousiasme du minéralogiste qui les étudia; rarement dans l'histoire de la minéralogie il fut donné à un aussi brillant minéralogiste d'étudier d'aussi merveilleux minéraux!

L'étude minéralogique des pegmatites de Madagascar est unique en son genre et, certainement, une des plus complètes qui ait été faite sur un ensemble aussi vaste de champs pegmatitiques.

Il n'est pas inutile de rappeler ici que, A.É. FERSMAN, qui devait, plus tard, faire de remarquables travaux sur les pegmatites, travailla avec A. LACROIX précisément pendant la période qui fut consacrée par ce savant à l'étude de la minéralogie des pegmatites de Madagascar et puisa chez le Grand Maître non seulement son enthousiasme et son amour des pegmatites, mais aussi et surtout l'envergure de l'échelle à laquelle devaient être conçues les études des champs pegmatitiques.

A. LACROIX a décrit une centaine de minéraux de pegmatites ou provenant de l'altération de ceux-ci. On trouve dans la « Minéralogie de Madagascar » une description très détaillée de tous les habitus des cristaux des principaux minéraux des pegmatites de Madagascar et particulièrement des minéraux donnant des gemmes tels que les béryls, les tourmalines, les topazes, les quartz, les apatites, etc.

Après les travaux de A. LACROIX, il faut attendre l'après-guerre et l'organisation du Service Géologique de Madagascar et du Commissariat à l'Energie Atomique pour voir la reprise des études minéralogiques des pegmatites. Les travaux de J. BEHIER (1954 et 1957) rendent compte des progrès réalisés dans les connaissances minéralogiques des pegmatites de 1946 à 1957: un ensemble de 26 minéraux non encore signalés à Madagascar y sont mentionnés.

Les géologues du Commissariat à l'Energie Atomique, suivant les tendances générales de l'après guerre, ont étudié les structures internes des pegmatites si importantes pour l'interprétation des prospections et l'estimation des réserves de minéraux contenus dans des zones particulières. Ces études ont été résumées dans l'article de M.E. ROUBAULT, A. LENOBLE et A. GANGLOFF (1952). Ce travail montre une nette évolution dans les conceptions de l'étude des pegmatites: l'accent est mis sur la répartition des minéraux en zones qui se distinguent entre elles tant par les associations des minéraux que par leur granulométrie et les habitus cristallins.

J. GUIGUES (1954, 1955) tout en continuant les études sur les structures internes des pegmatites, introduit les notions de A.E. FERSMAN (1931) relatives aux types de pegmatites caractérisés par des étapes et des phases qui se définissent par des associations de minéraux typomorphes. Lui et P. GIRAUD ont étudié les répartitions des minéraux en zones.

L'auteur a eu l'occasion de visiter les principaux champs pegmatitiques de Madagascar en 1956 sous la conduite de J. GUIGUES et en 1957 sous la conduite de ce dernier et de P. GIRAUD. Ces visites ont été faites au moment où de nombreux champs pegmatitiques étaient encore accessibles par routes par suite de leur prospection et de leur exploitation intensives soit pour le béryl

pierreux soit pour la rubellite, le béryl rose et les autres variétés de gemmes associées aux pegmatites.

Au cours de ces visites il a été possible de jeter les bases pour l'établissement de zonéographies des pegmatites dans divers champs pegmatitiques (N. VARLAMOFF 1956 et 1957) et d'introduire dans les études des pegmatites les notions de répartitions spatiales des types de pegmatites.

Quelques travaux ayant trait à la zonéographie et à la répartition spatiale ont été faits par GIRAUD (1956 et 1957) ainsi que par G. HEURTEBIZE (1963). Ces auteurs reconnaissent l'existence de la zonéographie et la mettent en relation avec le métamorphisme.

De son côté, l'auteur a exprimé ses idées sur la zonéographie et sur les origines des pegmatites de Madagascar dans une série de courtes notes (N. VARLAMOFF, 1957, 1960, 1961, 1963 et 1968). L'auteur considère que les pegmatites de Madagascar sont en relation avec les intrusions granitiques et qu'il est possible d'établir des types de pegmatites dont les répartitions spatiales montrent nettement la dépendance des pegmatites et des intrusions.

Dans ces dernières années, les déterminations des âges des champs pegmatitiques ont été faites (L. DELBOS 1963; BESAIRIE 1963 et 1966). En conclusion, de l'ensemble des études des pegmatites H. BESAIRIE (1966, p. 68) écrit:

(...) il n'y a pas à Madagascar de granites générateurs et les pegmatites sont liées à des phénomènes particuliers au front des migmatites dans le cycle de la ressuée terminale, autour de 485 millions d'années de la vaste granitisation de 500-550 millions d'années.

Les études des pegmatites se sont donc développées à Madagascar suivant les étapes suivies dans le monde, c'est-à-dire: identification et description des minéraux; reconnaissance de l'existence du zonage interne des pegmatites; individualisation des types de pegmatites; établissement des premières données concernant la répartition spatiale des types de pegmatites, autrement dit la zonéographie.

En comparaison avec le travail de A. LACROIX (1922-1923) sur la minéralogie des pegmatites de Madagascar, les autres travaux sont bien plus modestes et il est à souhaiter que de nouveaux

travaux importants soient consacrés à la synthèse des connaissances acquises sur l'ensemble des champs pegmatitiques de la Grande Ile.

Il reste notamment à distinguer les groupes des granitoïdes associés aux pegmatites à terres-rares, aux pegmatites à muscovite et ceux qui seraient éventuellement associés avec le quartz piézoélectrique.

III. NOTIONS SUR LES TYPES DE PEGMATITES ET SUR LA ZONEOGRAPHIE

Les pegmatites et les filons de quartz à métaux rares peuvent être localisés soit à l'intérieur des massifs granitiques soit dans les roches formant leur toit. Ces localisations dépendent, dans une large mesure, de la profondeur de la mise en place des massifs granitiques: lorsque ces massifs se mettent en place à faible profondeur, dans des roches relativement froides, les pegmatites et les filons de quartz peuvent être contenus entièrement dans les granites; à mesure que la profondeur de mise en place augmente en même temps que la température des roches encaissantes croît, les filons de quartz et les pegmatites pénètrent de plus en plus dans les roches encaissantes et, dans les cas extrêmes, peuvent se trouver entièrement situés dans les roches du toit (N. VARLAMOFF, 1958, 1960, 1968 et 1971; H. ADAM, 1969).

L'examen des pegmatites d'un même massif granitique montre que la nature des pegmatites varie lorsque l'on va de l'intérieur du massif granitique vers les contacts et au-delà: la composition minéralogique change de même que les dimensions des filons individuels.

Pour pouvoir identifier les pegmatites A.E. FERSMAN (1931 et 1934) proposa les minéraux « typomorphes » dont l'ensemble permet de définir un « type de pegmatite ». Plus tard, il fut établi que les types de pegmatite se répartissaient d'une manière systématique autour des coupoles granitiques, esquisant une « zonéographie » que les géologues soviétiques appellent « zonalité verticale et horizontale » et qui a reçu le nom de « regional zoning » chez les auteurs anglo-saxons. Dans une même orogénie, à l'échelle de vastes régions, les types de pegmatites et leur zonéographie restent remarquablement semblables (N. VARLAMOFF, 1970, 1968 et 1971; D. SOULÉ DE LAFONT 1958, H. ADAM 1969). D'une orogénie à l'autre, les tendances d'évolution des types de pegmatites et de leurs répartitions spatiales, c'est-à-dire leurs zonéographies, restent reconnaissables

(N. VARLAMOFF, 1971). Les minéraux typomorphes, les types de pegmatites et les zonéographies n'ont rien de théorique, ce sont des faits établis par l'intégration et la statistique des observations.

A.E. FERSMAN (1931 et 1934) tenta de donner une interprétation théorique des observations dont il disposait à l'époque, en supposant que le processus de cristallisation se passait en système fermé, que la concentration et la pression variaient peu et que la température était la principale variable. Il subdivisa le processus pegmatitique en cinq étapes (magmatique, épimagmatique, pneumatolytique, hydrothermale et supergène) et en dix phases, chacune caractérisée par un ensemble de minéraux typomorphes. Une pegmatite pouvant être composée d'une ou de plusieurs phases disposées à l'intérieur de la pegmatite en zones plus ou moins facilement discernables, chacune caractérisée par des minéraux typomorphes, par leur structure et par la grandeur de leurs cristaux.

A la lumière de nombreuses nouvelles observations accumulées depuis la parution des théories de A.E. FERSMAN, il ressort que le processus pegmatitique peut se dérouler en système ouvert ou fermé et que la concentration et la pression peuvent varier dans de larges limites. Malgré ces correctifs, l'ensemble de l'approche de l'étude des pegmatites reste valable.

Il existe dans la nature des pegmatites monophasées ou polyphasées c'est-à-dire des pegmatites ne présentant pas de zonation interne et des pegmatites présentant une zonation interne plus ou moins parfaite. Les pegmatites de l'Afrique Centrale et de l'Ouest ne présentent pas de zonation interne ou bien en montrent une peu prononcée (N. VARLAMOFF 1954 à 1971; D. SOULÉ DE LAFONT 1958; H. ADAM, 1969). Les pegmatites à métaux rares de Madagascar (et du Mozambique), au contraire, ont une zonation interne très prononcée. Les zones étant caractérisées tant par des assemblages de minéraux que par la structure et la taille des cristaux.

D'après l'auteur (N. VARLAMOFF 1956 et 1960), les pegmatites non zonées, souvent monophasées, se forment dans les régions à tectonique active dans lesquelles les produits de différenciation des granites sont expulsés au fur et à mesure de leur production. Les pegmatites zonées correspondraient à des régions

à tectonique plus calme permettant l'accumulation de produits de différenciation et leur expulsion à intervalles moins fréquents. Ces derniers peuvent alors cristalliser en se séparant en zones. Il existe, en Afrique, des champs pegmatitiques à pegmatites monophasées dans lesquels certains types peuvent montrer plusieurs zones bien individualisées. L'émission de ces types correspondrait à des périodes tectoniquement plus stables du processus de cristallisation et de différenciation des granites.

Ces idées pourraient trouver quelque support dans les dernières publications de R.H. JAHNS (1969), qui a étudié les types de pegmatites et leurs structures en fonction du contenu en eau du magma granitique qui cristallise et des pegmatites qui se forment aux différents stades. L'auteur reviendra sur cette question plus loin.

IV. CHOIX D'UNE CLASSIFICATION POUR LES PEGMATITES A METAUX RARES DE MADAGASCAR

Il existe des classifications théoriques de pegmatites basées sur les lois de la physico-chimie et d'autres que l'on pourrait appeler des « classifications de terrain » basées sur l'intégration des faits observés sur les pegmatites de vastes régions.

Sur le terrain, particulièrement lorsque les pegmatites sont altérées, il n'est pas possible d'identifier les facteurs physico-chimiques (température, concentration et pression, etc.) qui ont présidé à leur formation. Aussi doit-on recourir à d'autres indications pour classer les pegmatites et les distinguer les unes des autres.

De la classification de A.E. FERSMAN, pour l'URSS, K.A. VLASOV a dérivé une classification principalement basée sur la nature des feldspaths ainsi que sur les structures qui résultent de la juxtaposition de leurs cristaux et de ceux du quartz. Partant de la même classification, l'auteur a établi, pour le centre et l'ouest africain, une classification basée essentiellement sur les minéraux qui résistent le mieux à l'altération tropicale et équatoriale tels que les micas, les tourmalines, les béryls, l'amblygonite, la columbo-tantalite, la microlite, la cassitérite et les feldspaths lorsqu'ils sont reconnaissables. Des classifications semblables à celle de l'auteur ont été adoptées en Afrique par D. SOULÉ DE LAFONT (1958) J. VAN DE STEEN (1959), R. GIRAUDON (1962), H. ADAM (1969). Ces classifications sont rapides, indépendantes des théories et permettent des comparaisons faciles entre les champs pegmatitiques (N. VARLAMOFF, 1971). En même temps, de telles classifications sont utiles: elles permettent la mise en pratique de recherches minières rationnelles pour tel ou tel minéral.

Ces dernières classifications ont été faites pour les pegmatites monophasées ou comportant peu de phases. Les pegmatites de Madagascar sont multiphasées, aussi le problème de leur classi-

fication et du tracé de leur zonéographie est-il plus complexe. Mais, comme l'évolution du processus pegmatitique se fait dans le même sens, on peut adapter les classifications précédentes aux pegmatites à métaux rares de Madagascar.

L'auteur adoptera donc pour Madagascar une classification basée sur les mêmes minéraux peu altérables que ceux qui ont servi à l'établissement des classifications des pegmatites dans le centre et l'ouest africain. Comme l'altération des roches est moindre à Madagascar que dans beaucoup de parties équatoriale et tropicale de l'Afrique, les feldspaths seront pris en considération lorsqu'ils seront reconnaissables. De plus, la même numérotation des pegmatites sera utilisée que celle qui a été établie par l'auteur pour l'Afrique (N. VARLAMOFF, 1971). Cette façon de procéder permettra une comparaison rapide des types de pegmatites et soulignera une fois de plus, le sens de l'évolution géochimique des phases successives du processus pegmatitique.

Les pegmatites seront donc caractérisées par leurs minéraux et leur structures plutôt que par des termes généraux tels que pegmatites homogènes, peu différenciées, semi-zonées, zonées (G. HEURTEBISE, 1963) ou amas, trizones, bizones, non zonés (H. BESSAIRE, 1966).

Les *tableaux I* et *II* montrent comment on peut classer les pegmatites en partant du massif granitique et en s'éloignant dans les roches encaissantes. Plus loin, des coupes seront décrites pour illustrer les tableaux et pour permettre, à ceux qui le voudront, de vérifier le bien-fondé des classifications proposées.

Le *tableau I* montre clairement que pour les régions Ampan-dramaika-Malakialina, on a, d'abord, des pegmatites à grain relativement fin et à biotite; plus loin, dans les pegmatites à biotite, apparaît un noyau de quartz avec des prismes de tourmaline noire; plus loin encore, la tourmaline se répand dans la pegmatite avec des concentrations importantes autour du noyau de quartz, dans celui-ci apparaît la muscovite; plus loin encore, la biotite et la tourmaline sont refoulées vers la zone d'éponte, la muscovite se répand dans toute la pegmatite; une zone à perthites géantes apparaît autour du noyau de quartz en même temps que des petits prismes de béryl pierreux ainsi que des phosphates noirs et de l'amblygonite; ces derniers minéraux sont plus rares; plus

TABLEAU II

Types	Description des types de pegmatites	Classification de H. Besairie	Zonation interne des pegmatites	Structure interne des pegmatites de Berere				Minéraux typomorphes des pegmatites								Phénomènes secondaires			
				graphiques	noyau de quartz	grandes perthites	zones internes	biotite	tourmaline noire	feldspaths graphiques	muscovite	quartz	béryl	columbo-tantalite	tourmaline bleue et verte	albitisation	biotitisation	greisification	lépidolisation
Type 4-5-6	Pegmatites de grandes dimensions à noyau ou amas de quartz entouré d'une zone à perthites géantes et grands prismes de béryl pierreux près du noyau, muscovite et albitisation associée à la columbo-tantalite. Prés des éponites, structures graphiques et parfois un peu de biotite.	Pegmatites Trizonées															non observé	non observé	
Type 3	Pegmatites à noyau ou amas de quartz entouré d'une zone à grandes perthites avec de petits prismes de béryl en quantités non économiques, muscovite. Prés des éponites feldspaths graphiques, biotite, très rares tourmalines noires et muscovite dans la partie voisine de la zone à perthites.	Pegmatites bizonées															non observé	non observé	
Type 2	Pegmatite à biotite à grain moyen avec développement des structures graphiques dans les feldspaths. Peu de quartz.	Pegmatites Monozonées															non observé	non observé	
Type 1	Pegmatite à grain fin à biotite. Peu de quartz.	Pegmatites Monozonées															non observé	non observé	



TABLEAU II Schéma montrant l'évolution minéralogique et structurale du processus pegmatitique dans les régions de Berere, d'Androfia et de Mahadaza

1. Faciès à grain fin à biotite.
2. Faciès pegmatitique à biotite, à grains moyen à gros, avec développement de structures graphiques dans les feldspaths. Relativement peu de quartz.
3. Faciès pegmatitique à grain moyen avec biotite et muscovite et à feldspath graphique.
4. Faciès pegmatitique à grain moyen à muscovite avec, parfois, de rares biotites et structures graphiques.
5. Faciès pegmatitique dont les perthites peuvent atteindre des dimensions gigantesques dans le type 4-5-6; grandes poches de quartz et de muscovite; petits et grands prismes de béryl pierreux.
6. Noyau de quartz
7. Prismes de béryl pierreux, les concentrations principales et les plus gros prismes se rencontrent au contact de la zone à perthites géantes et du noyau de quartz.
8. Phénomènes de biotitisation secondaire.

loin encore, la biotite disparaît presque totalement, la tourmaline ne se rencontre plus qu'en petits prismes contre l'éponte, la zone à perthites géantes se développe, le noyau de quartz devient très important, à son contact se développent des prismes de béryl pouvant atteindre plusieurs tonnes et même, dans des cas exceptionnels, des dizaines de tonnes. Les phénomènes secondaires tels que l'albitisation, la greisenification, la lépidolitisation et la biotitisation se développent dans le même sens, à tel point que toute la pegmatite peut être albitisée.

En même temps, comme le montre le *tableau I*, les dimensions des pegmatites se développent fortement en allant des pegmatites à biotite vers celles à béryl pierreux du type 6.

Il se marque donc une évolution géochimique très nette dans les pegmatites à mesure que l'on s'éloigne du massif granitique: disparition progressive du fer et du bore développement du microcline, du quartz, du béryl, du lithium, du tantale et du niobium ainsi que des phénomènes secondaires.

Le tableau II montre comment on peut classer les pegmatites de la région de Berere, d'Androfia et de Maharidaza.

Quant aux pegmatites de la vallée de la Sahatany, leur évolution est fort semblable à celle des pegmatites de la région Ampandramaika-Malakialina; mais l'image est souvent oblitérée par les phénomènes secondaires d'albitisation et de lépidolitisation avec dépôts de rubellite, de tourmalines polychromes ou vertes, de spodumène transparent ou de kuntzite, de béryl rose ou incolore, de quartz citrine ou enfumé et des orthoses transparentes jaunes de toute beauté.

V. CHAMPS PEGMATITIQUES D'AMPANDRAMAIKA-MALAKIALINA

1. QUELQUES CONSIDÉRATIONS SUR LA GÉOLOGIE GÉNÉRALE DE LA RÉGION

La géologie générale de la région Ampandramaika-Malakialina a été, il y a peu de temps, rediscutée par L. FOURNIER et G. HEURTEBIZE (1963) et plus récemment précisée par M. BERTUCAT, L. FOURNIER et G. HEURTEBIZE (1966, pp. 111-112); il est probable que d'autres mises au point suivront car les problèmes sont très complexes. L'auteur, se rallie à l'interprétation donnée par les géologues cités plus haut en ce qui concerne la stratigraphie et admet avec eux que la région des champs pegmatitiques est couverte par une série stratigraphique qui, à l'origine, était constituée par des sédiments argileux, gréseux, calcaires, dolomitiques, etc. et qui a subi des plissements et un métamorphisme régional intense ayant produit des migmatites, des gneiss, des micaschistes, des quartzites, des cipolins et des amphibolites. Ces phénomènes ont certainement constitué une étape primordiale de l'évolution de la région, caractérisée par des températures et des pressions élevées ainsi que par une grande plasticité des roches permettant le fluage des migmatites et des gneiss. Durant cette période, dans les migmatites, se sont formées des parapegmatites peu puissantes, d'allure diffuse, montrant le fluage et nettement apparentées aux roches encaissantes.

Cependant, pour ce qui suit cette étape, l'auteur ne partage pas du tout les vues des géologues de Madagascar, pour lesquels les pegmatites résultent de la « ressuée » des migmatites. Pour l'auteur, qui a soigneusement examiné la région, après cette première étape ayant ses caractéristiques propres, il y a eu une autre étape caractérisée par la détente, l'absence du fluage, de l'écrasement et de la compression, la formation de cassures et de vides permettant la cristallisation tranquille de granites et de pegmatites à cristaux géants. Entre ces deux étapes, il a dû passer pas mal de

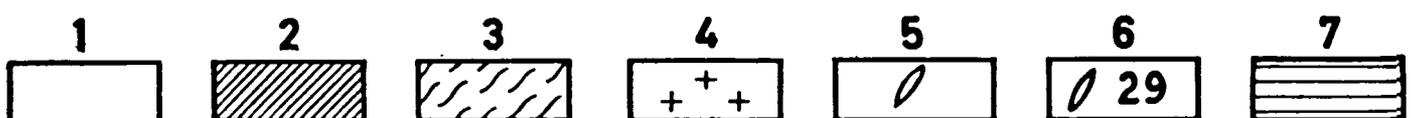
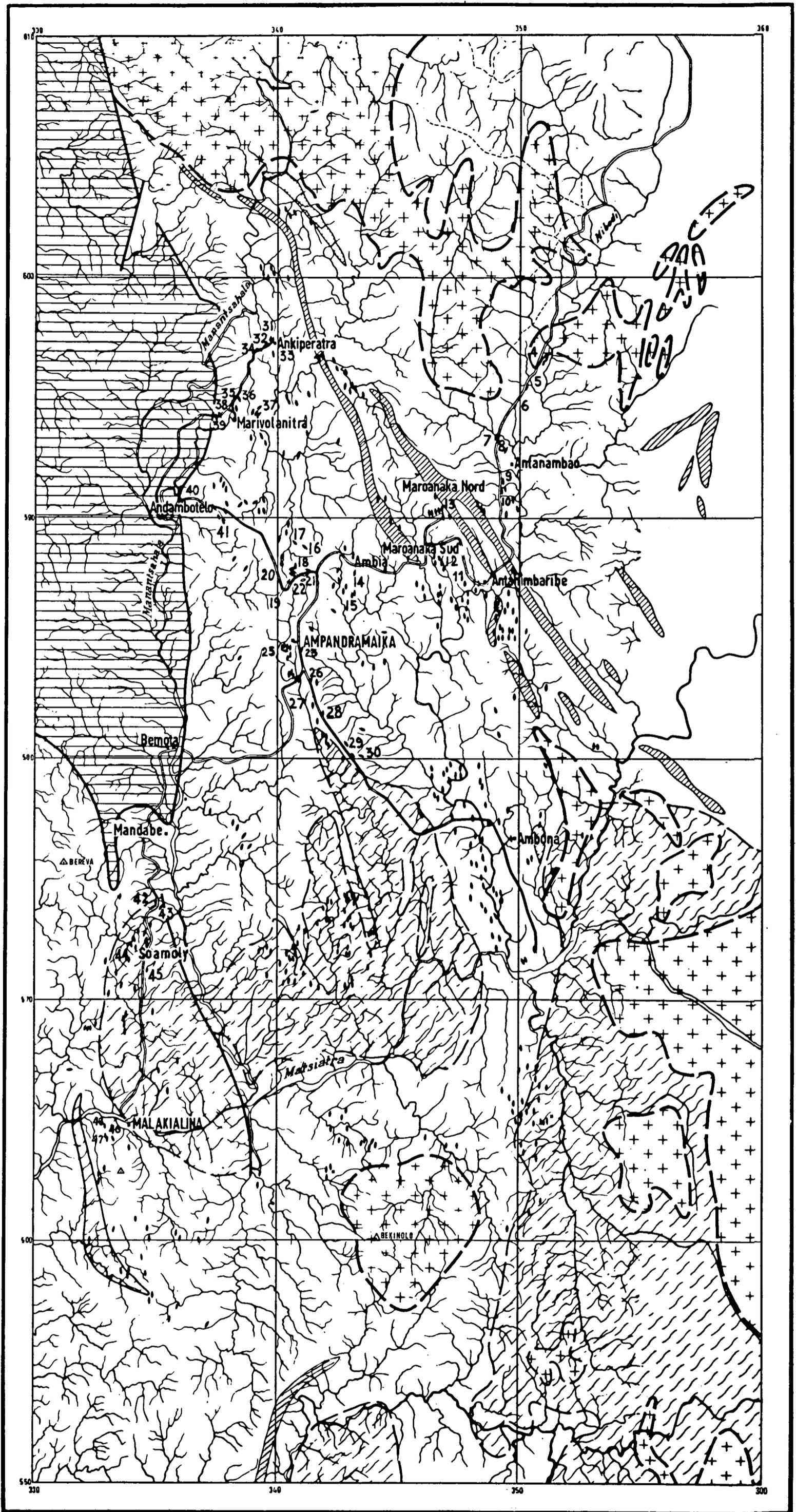


Schéma géologique de la région Ampandramaïka-Malakialina sur lequel sont indiqués les itinéraires auxquels se réfère le texte pour la description des type de pegmatites.

1. Micaschistes et schistes provenant du laminage des roches amphibolo-pyroxéniques. 2. Cipolins. 3. Migmatites. 4. Granites non orientés en massifs circonscrits. 5. Pegmatites en général. 6. Pegmatites numérotées auxquelles se réfère le texte. 7. Formations récentes en couches horizontales.

temps. Au cours de cette dernière étape, ont été intrudés des granites en massifs circonscrits, d'allure nettement recoupante, ainsi qu'il est montré sur la carte de la planche I hors texte. Ces granites n'ont rien de « stratoïde » et ne sont pas orientés. Ainsi qu'il sera montré plus loin, à partir de ces granites se sont formées les pegmatites à métaux rares de la région. Il importe de remarquer que si, parfois, les pegmatites sont concordantes en direction, elles sont discordantes en pendage, elles recoupent franchement les couches, la schistosité et les textures de fluage.

2. OBSERVATION SUR LE TERRAIN DE LA SUCCESSION DES TYPES DE PEGMATITES À PARTIR DES MASSIFS GRANITIQUES DANS LA RÉGION D'AMPANDRAMAIKA

a) *Généralités*

Les observations ont été faites suivant des pistes peu pratiques, d'un accès presque impossible aujourd'hui. L'auteur a pu visiter la région, sous la conduite de J. GUIGUES, le plus grand connaisseur des pegmatites de Madagascar, alors que les exploitations du béryl pierreux étaient en pleine activité et alors que les tranchées de prospection étaient encore fraîchement ouvertes.

Lorsque l'on tente d'établir la zonéographie des régions comme celle d'Ampandramaika-Malakialina, il faut tenir compte des grandes dénivellations ainsi que du fait que dans les fonds des vallées on peut trouver les pegmatites d'un type et sur les sommets les pegmatites d'un autre. Outre ce facteur d'ordre orographique, il convient de tenir compte du fait que la région a subi une tectonique récente du type horst et graben et que certains blocs ont été surélevés alors que d'autres ont été abaissés. Enfin, il y a plusieurs intrusions granitiques dans la région, sans compter celles qui sont probablement subafleurantes, elles ont une influence sur les particularités et l'allure que peut avoir la zonéographie.

Au moment de la visite du champs pegmatitique, J. GUIGUES avait déjà localisé avec le plus grand soin, les pegmatites à béryl pierreux et avait noté les autres pegmatites sans s'occuper de la zonéographie. De cette façon, la tâche de l'auteur a été grande-

ment facilitée: il a suffi de choisir des itinéraires pour recouper, en partant du granite, le maximum de filons de pegmatites.

b) *Description des coupes montrant les successions de types pegmatitiques: itinéraire Antanambao-Antanimbaribe-Maroanaka-Ambia-Ampandramaïka-Andambotelo.*

Sur la carte de la *planche hors texte 1*, on trouvera la situation des points d'observation qui ont permis l'établissement de la classification proposée dans le *tableau I*.

TYPE 0: *Pegmatites à biotite et magnétite (point 4)*

Point 4: granite à biotite, à grain moyen non orienté, à contacts recoupants. Dans le granite on trouve des filonnets de pegmatite de 10 à 20 cm d'épaisseur avec biotite et magnétite. On rencontre aussi des filonnets d'aplite de mêmes dimensions.

TYPE 1: *Pegmatites à biotite*

Point 5: dans les roches migmatitisées, recoupant les parapegmatites résultant de la migmatitisation, filonnets de pegmatite à biotite.

Point 6: filonnets de pegmatite à biotite.

Point 7: pegmatite à biotite d'un mètre d'épaisseur.

TYPE 2: *Pegmatites à biotite et tourmaline*

Point 8: dans une petite excavation, pegmatite à biotite et à tourmaline noire. Cette dernière se rencontre principalement dans de petites concentrations de quartz, dans lesquelles on peut noter aussi les premiers et très rares feuilletés de muscovite; l'épaisseur est de 4 mètres.

Point 9: pegmatite à noyau de quartz, biotite et tourmaline avec d'infimes quantités de béryl gemme, aigue-marine en cristaux de quelques centimètres. L'épaisseur est de l'ordre de 4 mètres.

Point 10: pegmatite à noyau de quartz avec tourmaline et biotite. La tourmaline est très abondante et répandue à travers toute la pegmatite. Petits prismes de béryl gemme aigue-marine.

TYPE 3: *Pegmatites zonées à biotite, tourmaline noire muscovite, feldspaths à quartz graphique et petits prismes, peu abondants, de béryl pierreux.*

Point 11, Antambariba: pegmatite de 10 à 15 mètres d'épaisseur avec biotite près des épontes, plus loin zone à muscovite et à très grosses tourmalines noires, les prismes individuels peuvent atteindre des dizaines de kilos; plus loin encore zone à feldspath graphique entourant le noyau de quartz rosé. Pas d'albitisation notable. Très faibles quantités de béryl pierreux et de columbo-tantalite. Les essais d'exploitation ont été décevants, les prismes de béryl ne dépassant pas les dimensions décimétriques et étant difficiles à récupérer à la main.

Point 12, Maroanaka-Sud: pegmatite de 3 à 4 mètres d'épaisseur, avec biotite près des épontes, tourmaline noire abondante, muscovite abondante; petit noyau de quartz avec, à la périphérie, petits prismes de béryl pierreux et columbo-tantalite. La production de béryl a atteint 500 kg et celle de columbo-tantalite quelques kg.

Point 13, Maroanaka-Nord: pegmatite de 10 mètres d'épaisseur, à biotite plus abondante que dans l'exploitation du point 12; tourmaline abondante, muscovite, petit noyau de quartz et très petits prismes de béryl. Albitisation assez forte, dans l'albite petits cristaux de columbo-tantalite.

Point 14: Pegmatite à biotite muscovite et tourmaline avec petit noyau de quartz, petits prismes de béryl ayant donné lieu à une production de quelques centaines de kilos.

TYPES 4-5: *Pegmatites zonées à muscovite tourmaline, béryl pierreux, très rares amblygonites*

Dans les pegmatites dont on trouvera une description sommaire plus loin, les zones sont dessinées plus nettement que dans des pegmatites décrites précédemment. Aux épontes on trouvera une zone à grain pegmatitique relativement petit avec muscovite et tourmaline qui sera de moins en moins abondante; plus loin vers l'intérieur, on trouvera une zone à très gros grain et même à cristaux géants de microcline perthitisé et des concentrations de mica en poches. Cette zone est suivie par le noyau de quartz

au contact duquel se trouvent les prismes de béryl pierreux et l'amblygonite lorsqu'elle existe. La columbo-tantalite se trouve dans les parties albitisées.

Il convient de noter que, alors que la production de béryl du type précédent se mesurait en kilogrammes, elle se mesure en tonnes dans les pegmatites décrites ci-après.

Points 15: pegmatite d'une épaisseur de 5 à 10 mètres à muscovite et tourmaline avec une zone à gros microlines perthitisés et béryl pierreux en petits prismes au contact d'un petit noyau de quartz. L'albitisation est faible. La production de béryl a été de 4 à 5 tonnes.

Point 16: Pegmatite avec une zone de muscovite et tourmaline, une zone à microline perthite avec cristaux de béryl pierreux, noyau de quartz peu net. Dans les déblais on trouve de l'amblygonite. La pegmatite est légèrement albitisée, et traversée par un filon de lépidolite contenant de la rubellite et de tourmaline verte et polychrome. Le filon est nettement recoupant et est postérieur à la pegmatite.

Point 17: pegmatite d'une épaisseur de 10 à 15 mètres qui se trouve dans le prolongement de la précédente. Elle contient près de l'éponte une zone à grain fin avec tourmaline et muscovite suivie par une zone à microline perthitisé et à quartz en cristaux géants entourant un noyau de quartz rosé. Les prismes de béryl se trouvent à la limite de cette zone et du noyau de quartz. Il y a une légère albitisation à laquelle est associée la columbo-tantalite. Cette pegmatite a fourni une production d'environ 10 tonnes de béryl pierreux.

TYPE 6: Pegmatites avec muscovite et béryl pierreux un peu d'amblygonite et une zone très réduite près des épontes avec un peu de tourmaline noire

Point 18: pegmatite avec une zone à grain relativement fin avec muscovite et tourmaline noire, suivie par une zone de gros microlines perthitisés entourant un noyau de quartz rosé. Les prismes de béryl pierreux se trouvent au contact de cette dernière zone et du noyau de quartz. On note un peu d'apatite. Cette pegmatite a produit 2 tonnes de béryl pierreux.

Point 19: pegmatite d'une épaisseur de 5 à 10 mètres, la zone à grain fin avec tourmaline et muscovite est encore plus réduite, suivie d'une zone de gros microclines perthitisés entourant un noyau de quartz. Cette pegmatite a produit 10 tonnes de béryl pierreux.

Point 20: même pegmatite que la précédente d'une épaisseur de 16 à 20 mètres avec en plus, de l'amblygonite dans la zone des prismes de béryl. Dans les parties albitisées elle contient de la columbo-tantalite. Elle a produit 5 tonnes de béryl pierreux.

Point 21: pegmatite à une zone très réduite avec tourmaline noire suivie d'une zone à grandes lames de muscovites avec microcline perthitisé en grands cristaux avec phosphates noirs entourant un noyau de quartz rosé. Les prismes de béryl se trouvent au contact de cette dernière zone et du noyau de quartz. La pegmatite a produit 4 tonnes de béryl pierreux.

Point 22: pegmatite presque sans tourmaline dans la zone de contact, avec une zone à grands microclines perthitisés entourant un noyau de quartz blanc. Le béryl est localisé dans la partie de contact de la zone à grands cristaux de microclines. On note une certaine greisenification et une légère albitisation; la minéralisation de columbo-tantalite est liée à cette dernière.

Point 23: Ampandramaika, c'est la plus grande et la plus importante pegmatite de la région, elle a une longueur de 150 mètres et des épaisseurs variant de 10 à 15 mètres, son exploitation a produit plus de 300 tonnes de béryl pierreux. La pegmatite a une zone à grain relativement fin avec un peu de tourmaline noire contre l'éponte; cette zone est suivie par une zone à microclines perthitisés géants entourant un noyau de quartz blanc. Les gros prismes de béryl se trouvent au contact du noyau de quartz. La pegmatite est partiellement albitisée, la columbo-tantalite est associée à l'albitisation, on en a ramassé 3 tonnes à la main.

TYPE 7: pegmatites de dimensions moyennes partiellement ou complètement albitisées

Points 24 et 25: vers l'ouest et vers le sud d'Ampandramaika, (point 23), on trouve des pegmatites presque sans mica, sans

tourmaline aux épontes et pratiquement entièrement albitisées. Aucune minéralisation n'a été observée en relation avec ces pegmatites (cependant elles ressemblent très fort aux pegmatites de type 7 du Rwanda qui contiennent de la cassitérite, de la columbo-tantalite finement grenues et du béryl blanc en prismes minuscules).

Point 41: pegmatite dure d'une épaisseur de 3 mètres, fortement albitisée à petites rosettes de tourmaline dans l'albite.

TYPE 8: filons de quartz blanc laitieux

Point 42: Roches tourmalinisées et filons de quartz blanc à aiguilles de tourmaline.

Dans l'itinéraire décrit, en partant des granites et en allant vers l'extérieur, on passe progressivement (voir la carte de la *planche 1*; le *tableau 1*, et la coupe schématique de la *fig. 2*) des pegmatites à biotite de faibles dimensions à une zone aux pegmatites de grandes dimensions à trois zones: une zone à grain fin avec de la muscovite et un peu de tourmaline noire en petits cristaux près des épontes; une zone à perthites géantes, quartz, muscovite et, au contact du noyau de quartz, des prismes de béryl pierreux; une troisième zone constituée par le noyau de quartz. Le schéma du *tableau 1* montre qu'il y a une évolution progressive et continue dans la succession des pegmatites en partant du type 0 et en allant jusqu'au type 6. Les minéraux ferro-magnésiens sont rejetés progressivement vers les épontes et leur importance diminue petit à petit jusqu'à leur disparition complète.

Après le type 6, les pegmatites sont complètement albitisées, elles ne contiennent pas de noyau de quartz. Leurs minéralisations n'ont pas été étudiées. Ces dernières pegmatites sont suivies par des filons de quartz, qui contiennent des aiguilles de tourmaline noire; les roches encaissantes sont également tourmalinisées.

Si l'on compare cette coupe à celles qui peuvent être faites dans le centre et l'ouest africain (N. VARLAMOFF, 1971), on est frappé par la similitude de l'évolution des processus pegmatitiques. L'auteur reviendra sur cette question plus loin et plus en détail.

3. ITINÉRAIRE PERMETTANT DE FAIRE DES COUPES PARTIELLES

L'itinéraire précédent permettait de suivre une coupe pratiquement complète des pegmatites. Dans la région, on peut observer d'autres coupes partielles, montrant les successions des types de pegmatites et confirmant ce qui a déjà été décrit à l'occasion de l'itinéraire précédent.

a) *Itinéraire entre Ankiperaatra et Marivolanitra*

Les pegmatites du type 6 d'Ankiperaatra-Nord (*point 31*) et de Marivolanitra (*point 37*) se trouvent sur des sommets qui dominent de 300 à 400 mètres les fonds des vallées dans lesquelles d'autres pegmatites appartenant au type 4-5 ont été rencontrées.

TYPE 4-5

Point 39: Pegmatite à muscovite avec un peu de tourmaline noire près des épontes; il n'y a pas de véritable noyau de quartz, il existe cependant des amas de quartz; l'albitisation est faible; peu de béryl pierreux.

Point 38: Pegmatite d'Ambararata, à muscovite avec un peu de tourmaline aux épontes dans la zone à grain fin suivie d'une zone à perthites de grandes dimensions entourant un noyau de quartz. L'épaisseur de la pegmatite est de l'ordre de 5 à 6 mètres; elle a donné une production de 300 kilos de béryl pierreux et quelques kilos de columbo-tantalite.

Point 36: Pegmatite à muscovite avec tourmaline noire qui se répand à travers toute la pegmatite. Dans cette pegmatite on peut noter de la biotite secondaire en lames dans du quartz brisé (il sera question de cette biotite secondaire dans la partie de ce mémoire consacrée aux pegmatites de Berere, (voir *photos n^{os} 13 et 14*). Cette pegmatite a donné quelques tonnes de béryl pierreux.

Point 35: Pegmatite avec une zone à grain fin à muscovite et gros prismes de tourmaline noire fixés perpendiculairement à l'éponte (voir *photo 1*) suivie d'une zone à grandes perthites entourant un noyau de quartz de faibles dimensions. On note en

plus une légère albitisation et greisenification ainsi que la présence, près du noyau de quartz, de phosphates noirs de fer et de manganèse. Cette pegmatite a donné lieu à une production de 4 tonnes de béryl pierreux et à une tonne de columbo-tantalite.

Point 34: Pegmatite dure, la zone à grain fin contient des tourmalines noires; dans la zone à grandes perthites on rencontre quelques petits prismes de béryl pierreux. La pegmatite est assez fortement albitisée.

Point 33: Pegmatite à muscovite et un peu de tourmaline noire dans la zone à grain fin. La zone à grandes perthites est mal définie et le noyau de quartz est petit. On note une légère albitisation. Elle ne renferme que quelques petits prismes de béryl pierreux. L'épaisseur maxima est de 5 mètres.

Point 32: Pegmatite de 2 à 3 mètres d'épaisseur, avec une zone à grain fin contenant près de l'éponte de la biotite et de la tourmaline noire. Elle montre une zone à grandes perthites, mais n'a pas de noyau de quartz individualisé. Faible albitisation. Elle n'a donné que quelques kilos de béryl pierreux.

TYPE 6:

Point 31: Pegmatite d'Ankiperatra-Nord qui est formée d'une zone à grain moyen contenant des prismes de tourmaline noire, suivie d'une zone à perthites géantes bien individualisée entourant un noyau de quartz. Les grands prismes de béryl pierreux se trouvent près du noyau de quartz à la limite avec la zone à perthites géantes. Il existe une légère albitisation dans laquelle on trouve la columbo-tantalite. L'épaisseur de la pegmatite peut varier de 15 à 20 mètres et la longueur dépasse 50 mètres. Elle a produit 15 tonnes de béryl pierreux et 400 kilos de columbo-tantalite.

Point 37: Pegmatite de Marivolanitra, comme indiqué avant, elle se trouve sur un sommet isolé à 300 mètres au-dessus des pegmatites des points 35, 36 et 38. Elle a des épaisseurs variant de 25 à 30 mètres et une longueur de l'ordre de 200 mètres. Elle est constituée d'une zone à grain moyen à muscovite et un peu de tourmaline noire, suivie d'une zone particulièrement bien développée à perthites géantes (cristaux individuels d'un mètre

de longueur et plus grands) et des amas de micas (voir *photo 2*) entourant un noyau de quartz, par places mal individualisé. Le béryl pierreux se trouvait soit au contact de la zone à perthites géantes et du noyau de quartz soit dans le complexe quartz-muscovite qui remplit les intervalles entre les perthites géantes. Cette pegmatite a produit 400 tonnes de béryl pierreux dont un prisme de 25 tonnes. Elle a produit aussi 3 tonnes de columbo-tantalite qui se trouvait associée avec les parties albitisées.

b) *Itinéraire au Sud-Est d'Ampanramaïka*

En partant d'Ampanramaïka et en allant vers le sud-est par la piste on rencontre des pegmatites des types 4-5, puis des pegmatites du type 3.

TYPE 4-5

Point 26: Pegmatite présentant une zone à grain fin avec muscovite et tourmaline, suivie d'une zone à perthite entourant un petit noyau de quartz. Le béryl est en petits prismes non-récupérables à la main. Il y a un peu de greisenification.

TYPE 3

Point 28: Pegmatite à muscovite, biotite et tourmaline, localement albitisée, sans noyau de quartz. Pas de béryl pierreux aux essais.

Point 29: Pegmatite à muscovite, tourmaline et biotite; petit noyau de quartz; peu albitisée, avec des prismes de béryl pierreux, non récupérables à la main.

Point 30: Pegmatite à muscovite, tourmaline et biotite avec un noyau de quartz. La pegmatite est légèrement albitisée et recoupée par un greisen à mica vert en petites feuilles à topaze.

c) *Itinéraire Mandabe-Soamoly*

TYPE 8

Point 42: Filons de quartz, parfois avec des aiguilles de tourmaline noire. La roche encaissante est également tourmalinisée.

TYPE 7

Point 43: Pegmatite à muscovite avec un noyau de quartz. Elle est très fortement albitisée, particulièrement près des épontes où les minéraux de la pegmatite sont complètement remplacés par l'albite. On peut noter quelques prismes de béryl pierreux.

TYPE 6

Point 44: Pegmatite de Soamoly, avec une zone de bordure à grain moyen avec muscovite et tourmaline noire suivie d'une zone à perthites géantes entourant un noyau de quartz partiellement rosé. Elle a des épaisseurs variant de 10 à 15 mètres et une longueur de l'ordre de 200 mètres. Elle est célèbre par le prisme de béryl de 32 tonnes qui a été miné en laissant le moulage externe, hexagonal qui existe toujours. Ce prisme devait être bien plus grand, car les photographies prises par M. Rollet, propriétaire du gisement, montrent d'importants éboulis de béryl provenant de la destruction du prisme. On peut estimer qu'à l'origine, le prisme pesait au moins une cinquantaine de tonnes. Chose curieuse, ce prisme était pratiquement le seul dans cette pegmatite importante.

d) *Itinéraire de Malakialina*

Ici les observations de l'auteur ont été limitées à l'examen de la pegmatite principale et de quelques pegmatites qui l'entourent.

TYPE 6

Point 46: Pegmatite de Malakialina avec une zone de bordure de 1 à 1,5 m d'épaisseur, de grain moyen à muscovite et avec des gros prismes de tourmaline noire près des épontes, suivie d'une zone à perthites géantes séparées par des complexes de quartz et de muscovite; il n'y a pas de véritable noyau, mais il existe des poches de quartz. Le béryl en gros prismes se trouvait soit à la bordure de la zone à grain moyen et de la zone à perthites géantes soit dans les complexes quartz-muscovite qui remplissent les vides entre les perthites géantes (voir *photo 3*). Des prismes de 6 à 8 tonnes et des poches contenant jusque 17 tonnes de béryl pierreux ont été rencontrés. On peut noter dans les perthites géantes et dans le quartz, de la biotite secondaire en grandes

lames ou plaques; ce phénomène est très développé dans certaines pegmatites de Berere (Analila) et sera décrit dans la partie consacrée à cette région. La pegmatite n'est pas très grande: l'épaisseur est de l'ordre de 13 mètres et la longueur d'une centaine de mètres. Son exploitation a donné 400 tonnes de béryl pierreux et 800 kilos de columbo-tantalite.

TYPE 4-5

Points 48 et 47: Pegmatites avec zones de bordure à grain moyen avec un peu de tourmaline et de la belle muscovite qui a fait objet d'exploitations dans l'ancien temps, puis zone à grandes perthites entourant un noyau de quartz. Il y a peu de béryl pierreux, les pegmatites n'ont pratiquement pas été exploitées pour le béryl pierreux.

TYPE 6

Depuis les visites sur le terrain de l'auteur, la pegmatite A₄ a été ouverte et exploitée, elle a plus de 300 mètres de longueur et a une épaisseur maxima de 80 mètres reconnue par travaux souterrains (G. FRÈRE, 1963). Un prisme de 13 mètres de haut et de 1,5 à 2 mètres de diamètre ainsi que deux amas de 1,5 mètres à 2 mètres de diamètre ont été signalés en 1960 par J. DE SAINT OURS. Elle a produit au total près de 2.000 tonnes de béryl et 50 tonnes de columbo-tantalite.

L'ensemble des coupes partielles permet de montrer que les observations faites le long de l'itinéraire d'Antanambao à Ampandramaïka ne sont pas occasionnelles et que les types de pegmatites définis, se répètent et peuvent être identifiés sur toute l'étendue d'Ankiperatra à Malakialina. Le *tableau I* est donc valable pour toute la région.

Les coupes de détail des principales pegmatites de la région d'Ampandramaïka-Malakialina ont déjà été données à maintes reprises (J. GUIGUES, 1954 et 1955; J. DE SAINT OURS, 1960; G. FRÈRE, 1963; BESAIRIE, 1966). Aussi l'auteur s'est-il contenté de les schématiser dans le *tableau I*.

4. PHÉNOMÈNES SECONDAIRES

Le phénomène secondaire le plus notable est l'albitisation à laquelle est associée la plus grande partie de la columbo-tantalite; elle commence déjà à se manifester très faiblement dans le

type 2, et se développe un peu plus dans les types 3 et dans les types 4-5; dans le type 6, elle peut être relativement forte, c'est-à-dire atteindre 10 à 20 % de la pegmatite et elle peut être complète dans le type 7.

Il est remarquable que les pegmatites albitisées du type 7 de la République Démocratique du Congo, du Rwanda, du Burundi et de l'Uganda contiennent de la cassitérite, de la columbotantalite et du béryl vert ou blanc en petits prismes centimétriques. Les pegmatites de la région étudiée se rapprochent des pegmatites albitisées des pays mentionnés plus haut; à l'époque de la visite de l'auteur, elles n'avaient pas été étudiées pour ces minéraux qui se présentent, dans ce type de pegmatites, en grains relativement fins non récupérables à la main.

Cependant, G. HEURTEBISE (1963) et H. BESAIRIE (1966) signalent que des pegmatites à béryl fin ont été découvertes de part et d'autre de la rivière Matsiatra à Androtsi et à Beseva de la région de Malakialina. Il se peut qu'ils représentent le type 7 de l'auteur.

Les phénomènes de greisenification proprement dite sont pratiquement inexistantes. Quant à la lépidolitisation, elle existe et se manifeste sous forme de petits filonnets recoupants à géodes remplies de rubellite ou de tourmaline verte ou polychrome.

Les phénomènes de biotitisation secondaire parfois associés avec l'euxénite existent. On le trouve d'abord sur l'itinéraire de Marivolanitra à Ankiperatra dans les types 4-5, puis au Nord-Est d'Ampanramaïka dans les mêmes types et à Soamoly dans le type 6. Ce phénomène sera décrit en détail à l'occasion de la description des pegmatites de Berere (voir aussi les *photos 13* et *14*).

5. TYPES ET ZONÉOGRAPHIE DES PEGMATITES

J. DE SAINT OURS (1960, planche 14) a donné une première esquisse zonéographique de la région d'Ampanramaïka-Ankiperatra en dégagant particulièrement bien le fait que la zone de pegmatites était suivie vers l'ouest, par une zone à filons de quartz, confirmant ainsi les premières observations de l'auteur. Dans les filons de pegmatites il ne distingue que les « principales pegmatites » et les « pegmatites à blocs ».

G. HEURTEBISE (1963) a fait un travail très important sur la zonéographie des pegmatites de la région Ampandramaïka-Malakialina. Malheureusement pour la classification des types de pegmatites il n'a pas adopté une méthode basée sur l'évolution des associations minérales et des structures; de ce fait il est très difficile de tracer une zonéographie montrant des relations avec les massifs granitiques affleurants ou sub-affleurants. Néanmoins, sur la planche 57 de sa note (G. HEURTEBISE, 1963), on peut se rendre compte clairement que les filons de pegmatite à béryl fin font suite aux filons du type 6 et qu'ensuite on trouve une zone à filons de quartz.

L'auteur a établi pour cette région des types de pegmatites dont la classification est basée sur l'évolution des ensembles de minéraux et de structures semblable aux classifications qui ont été faites dans le centre et l'ouest africain ainsi qu'à Berere et qui ont servi au tracé des zonéographies (N. VARLAMOFF, 1971; H. ADAM, 1969 et D. SOULÉ DE LAFONT, 1958; P. GIRAUD, M. BERTUCAT et R. GIRAUDON, 1957) permettant de guider les recherches d'une part et établissant les relations avec les granites, d'autre part.

L'ensemble des observations est résumé et schématisé sur le *tableau I* qui montre clairement qu'il existe, dans la région d'Ampandramaïka-Malakialina, comme ailleurs, une succession de types de pegmatites évoluant à partir des granites. (*fig. 2*).

6. ORIGINE DES PEGMATITES

Dans cette région, il y a eu une première phase de métamorphisme régional et de migmatitisation caractérisée par la haute pression, la plasticité et le fluage de la matière. Pendant cette phase il y a eu des recristallisations au sein des migmatites qui ont produit des parapegmatites en petits filonnets concordants qui ont beaucoup hérité de la roche mère et qui font partie de sa trame intime.

Après refroidissement et perte de plasticité des roches, des granites ont été injectés. Ces granites sont recoupants et discordants et ne portent pas les marques de fluage. Les pegmatites résultent de la différenciation des granites et non de la « ressuée » des migmatites comme le supposent G. HEURTEBISE et H.

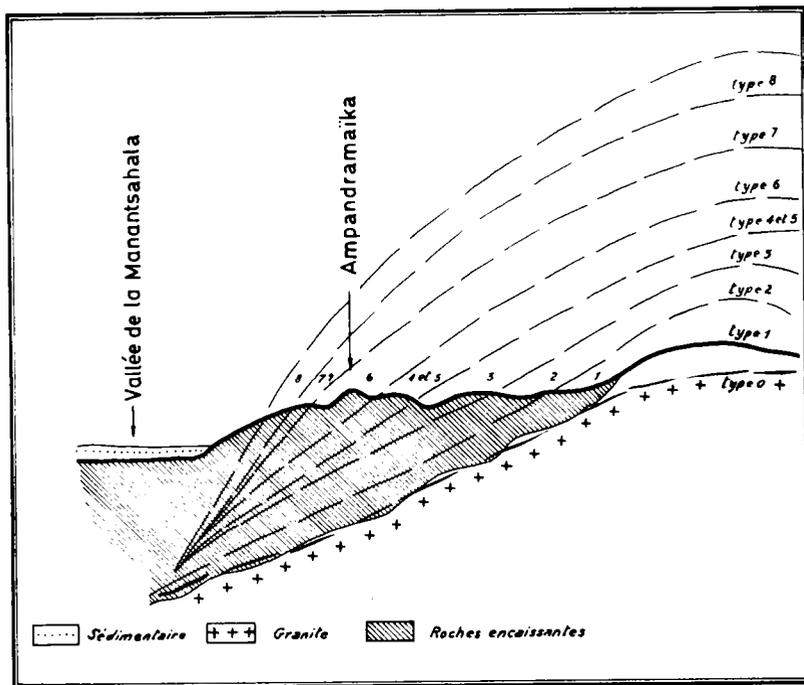


Fig. 2. — Représentation schématique de la répartition des types de pegmatites autour d'un massif granitique dans la région Ampandraïka-Malakialina.

BESAIRIE (1960). Cette « ressuée » se conçoit mal car, au moment de la mise en place des pegmatites, les migmatites étaient déjà consolidées et avaient perdu leurs propriétés de fluage.

Les pegmatites sont d'ailleurs soit recoupantes en direction et en pendage soit en pendage seulement donnant un aspect concordant en direction.

Il est intéressant toutefois de noter que les auteurs précités supposent que les pegmatites sont dérivées non des roches encaissantes, mais de la « ressuée » des migmatites, c'est-à-dire qu'ils admettent une migration soit d'un magma résiduel soit des solutions.

J. DE SAINT OURS (1960, p. 75) admettait que l'origine des pegmatites était en relation avec les granites porphyroïdes en sills, en dykes ou en petits massifs.

L'auteur discutera cette question plus à fond à la fin du mémoire dans un chapitre spécial.

VI. CHAMPS PEGMATITIQUES DE LA VALLEE DE LA SAHATANY

1. QUELQUES REMARQUES SUR LA GÉOLOGIE DE LA RÉGION

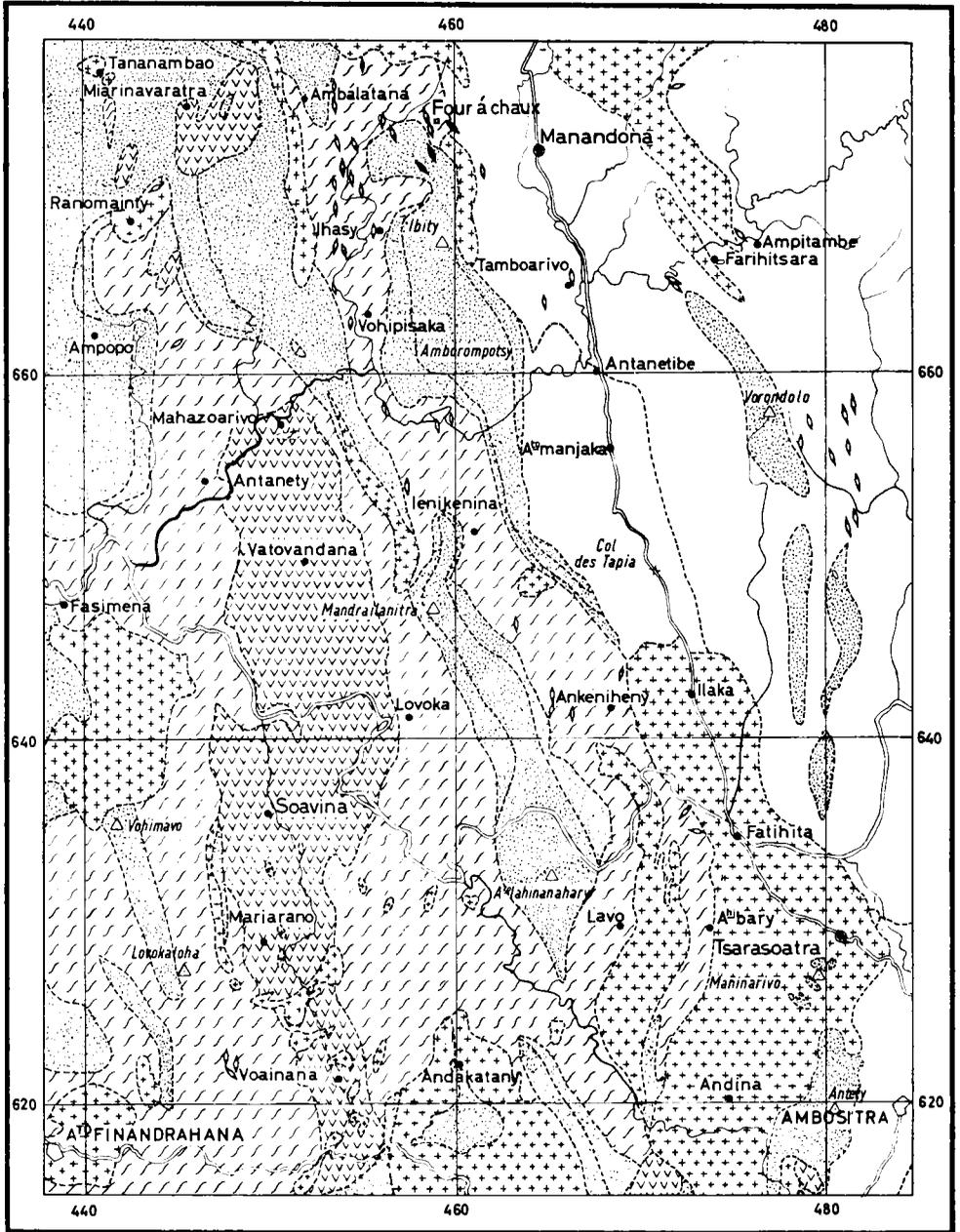
Comme le montre le schéma géologique de la *fig. 3*, la région est couverte par des migmatites, des cipolins, des quartzites et des roches basiques (diorites et gabbros). Ces roches ont été intrudées par des granites en massifs circonscrits d'allure recoupante. Les pegmatites sont associées avec les granites; cela est particulièrement vrai dans la région du « Four à chaux » situé à l'ouest de Manandona où on trouve une dépression entourée de granites, dans laquelle se trouvent les pegmatites.

2. QUELQUES CONSIDÉRATIONS SUR LES PEGMATITES DE LA VALLÉE DE LA SAHATANY

L'auteur a constaté que les phénomènes d'albitisation, de lépidolitisation et de dépôt des rubellites, du spondumène (kuntzite), du béryl rose, du quartz enfumé et citrine, du feldspath limpide de teinte jaune, etc., étaient en fait des phénomènes secondaires dus à l'action des pneumatolytes ou des solutions de haute température sur des pegmatites qui s'étaient mises en place antérieurement et dont les types se reconnaissent parfois assez nettement.

Il convient de souligner ici que ce qu'on appelle à Madagascar les pegmatites « sodo-lithiques » ne correspond pas du tout aux types normaux de pegmatites à minéraux sodiques et lithiques de l'Afrique. En effet, en Afrique, ces minéraux, surtout les minéraux lithiques, sont associés aux types bien définis de pegmatites dans lesquels ils se sont cristallisés pendant le processus pegmatitique proprement dit.

Dans la région de la vallée de la Sahatany, on peut distinguer les types suivants de pegmatites:



- | | | | | | | |
|---|--|----------------------------------|---|--|-----------------|--|
| 1 | | Migmatites granitoïdes | 4 | | Diorite, gabbro | Sodolithiques
à deux micas
à biotite |
| 2 | | Cipolins | 5 | | Granites | |
| 3 | | Quartzites à muscovite à biotite | 6 | | Pegmatites | |
- 0 4 8 12 16 20 km

Fig. 3. — Schéma géologique montrant la localisation des pegmatites de la vallée de la Sahatany.

TYPE 1: Près de granites: petits filonnets d'un mètre d'épaisseur au plus, à biotite et feldspaths. Les cristaux de feldspath et les amas de quartz, ainsi que les feuillets de biotite ont des dimensions centimétriques.

TYPE 2: Un peu plus loin des granites, on trouve des pegmatites avec une zone à grain moyen à biotite et tourmaline noire entourant un noyau de quartz. Les structures graphiques quartz-feldspath et quartz-tourmaline sont bien développées. Les dimensions de ces pegmatites sont un peu plus grandes: l'épaisseur peut atteindre quelques mètres et la longueur vingt à vingt-cinq mètres.

TYPE 3: Encore plus loin des granites, plus en aval dans la vallée de la Sahatany, on rencontre des pegmatites à biotite montrant une zone à grain relativement fin avec tourmaline en gros prismes et muscovite; suivie par une zone à microclines de dimensions modestes entourant un noyau de quartz plus ou moins bien individualisé.

L'érosion a probablement été telle qu'il n'est pas possible d'observer les autres types de pegmatites. La coupe schématique de la fig. 4 montre la répartition de ces types de pegmatites. Ces trois types de pegmatites sont assez semblables aux trois premiers

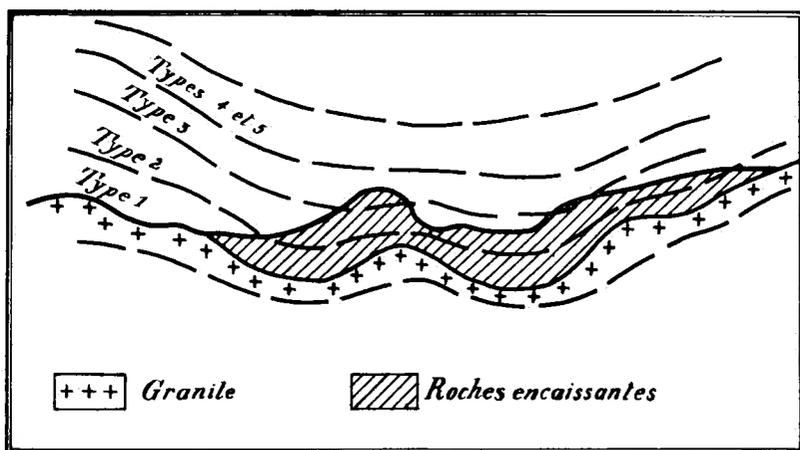


Fig. 4. — Représentation schématique de la répartition spatiale des pegmatites de la vallée de la Sahatany.

types décrits plus haut pour la région Ampandramaïka-Malakialina. Ils ont servi de support aux phénomènes secondaires tels que l'albitisation et la lépidolitisation accompagnés de minéraux géodiques de toute beauté.

A. LACROIX avait déjà remarqué ce phénomène de superposition encore en 1922 (T. II, p. 332 à 334).

Pour bien comprendre les phénomènes secondaires et pour pouvoir suivre leur développement, il convient autant que possible de distinguer les types de pegmatites de base puis d'étudier les phénomènes hydrothermaux et pneumatolytiques qui s'y superposent. A ce point de vue, il convient de remarquer que l'albitisation commence dans le type 2 et s'épanouit dans le type 3, dans lequel une grande partie des minéraux primaires de la pegmatite peuvent être complètement ou particulièrement remplacés. Avec cette albitisation intense du type saccharoïde est intimement associé le spodumène transparent et le béryl blanc en petits prismes. Il est à noter que cette albitisation n'est pas associée à la columbo-tantalite comme cela est le cas pour l'albitisation qui affecte les types 4-5 et 6 des pegmatites d'Ampandramaïka-Malakialina, d'une part, et les pegmatites des types 4-5-6 de Berere, d'autre part.

Après la phase d'albitisation qui est essentiellement sodique suit une phase qui se développe dans les pegmatites du type 2 et dans une certaine mesure dans celles du type 3 et qui est caractérisée par le dépôt de lépidolite qui nécessite des apports de potassium, de lithium, de fluor et du OH. La lépidolite peut être finement grenue ou en beaux cristaux hexagonaux pouvant atteindre et dépasser 10 centimètres lorsqu'elle cristallise dans les géodes ou les cassures ouvertes. Dans les fractures et les géodes, le dépôt de la lépidolite peut être précédé par un peu de cleavelandite. La lépidolite est suivie par des tourmalines vertes ou polychromes puis par la rubellite qui peut entourer les tourmalines vertes; la rhodizite peut être déposée soit sur la cleavelandite soit sur des aiguilles de rubellite. Il en est de même pour le béryl incolore et le béryl rose ainsi que pour la kuntzite, le feldspath transparent de tons jaunes, le quartz citrine, enfumé, gris ou limpide. Il semble que tous ces minéraux constituent une phase ultime qui suit celle des dépôts relativement abondants de lépidolite et de rubellite. Cette phase souvent peut faire

défaut et le processus finit par le remplissage par du quartz gris des géodes contenant les rubellites. L'indépendance de ces dépôts de minéraux ultimes se traduit par le fait qu'ils peuvent se déposer dans une géode ou une fracture éventuellement sur n'importe quel minéral qui les précède: cleavandite, lépidolite, rubellite. La lépidolite et les minéraux ultimes qui suivent sa cristallisation sont souvent nettement liés à des fractures ou filonnets assez facilement identifiables dans les filons du type 2; dans le type 3, on peut parfois suivre des fissures qui connectent les géodes. Dans le type 3, dans lequel existe de la tourmaline noire en prismes ou en association graphique avec le quartz, on peut parfois voir les cristaux de rubellite terminer les cristaux brisés de tourmaline noire (short).

Si l'on compare les manifestations secondaires de la vallée de la Sahatany avec celles que l'on observe dans les régions d'Ampandramaïka-Malakialina et de Berere on constate qu'ils affectent des types de pegmatites situés à des distances relativement différentes des contacts des granites avec les roches encaissantes. Cela est probablement dû au régime de refroidissement plus rapide des roches encaissantes dans la vallée de la Sahatany que dans les deux autres régions.

VII. CHAMPS PEGMATITIQUE DE BERERE

1. QUELQUES REMARQUES SUR LA GÉOLOGIE GÉNÉRALE DE LA RÉGION

Sur la *fig. 1* on trouvera la localisation du champs pegmatitique de Berere par rapport aux autres champs décrits dans ce mémoire. La situation géologique du champs pegmatitique par rapport aux grands traits de la géologie régionale est indiquée sur la carte de la *fig. 5*.

La géologie de cette région a été très soigneusement étudiée par P. GIRAUD (1956) et par P. GIRAUD, M. BERTUCAT et R.

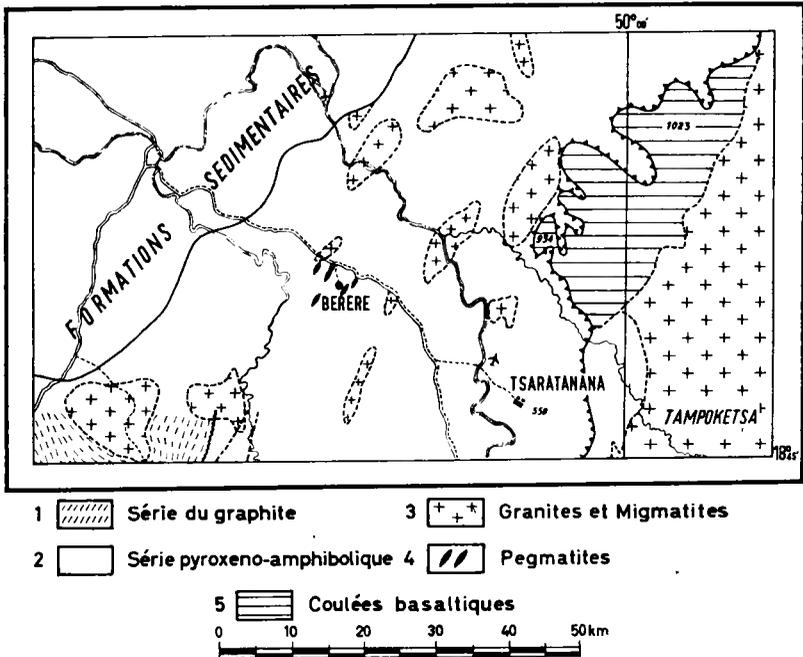


Fig. 5. — Situation générale des pegmatites de Berere par rapport à leur cadre géologique.

GIRAUDON (1957). Ces derniers auteurs ont d'ailleurs levé une carte au 1/20 000 dont une réduction simplifiée est donnée sur la *fig. 7*.

D'après ces auteurs, les formations encaissantes des pegmatites sont à rattacher à la série pyroxéno-amphibolitique. A l'endroit du champs pegmatitique, la schistosité de cette série dessine une dépression d'allure synclinale qui est bien mise en évidence sur la carte de la *fig. 7*. Cette dépression synclinale se trouverait au sommet d'un vaste dôme anticlinal de migmatites. Les pegmatites représenteraient des phases tardives de la migmatitisation.

2. DÉFINITION DES TYPES DE PEGMATITES DANS LA RÉGION BERERE

Dans la région de Berere, la tourmaline noire est très rare dans les pegmatites et, de ce fait, on ne peut distinguer beaucoup de types comme dans les autres régions; néanmoins ils peuvent être assez bien définis. La numérotation des types sera faite de telle manière qu'il soit possible de les comparer avec les pegmatites à métaux rares des autres régions étudiées.

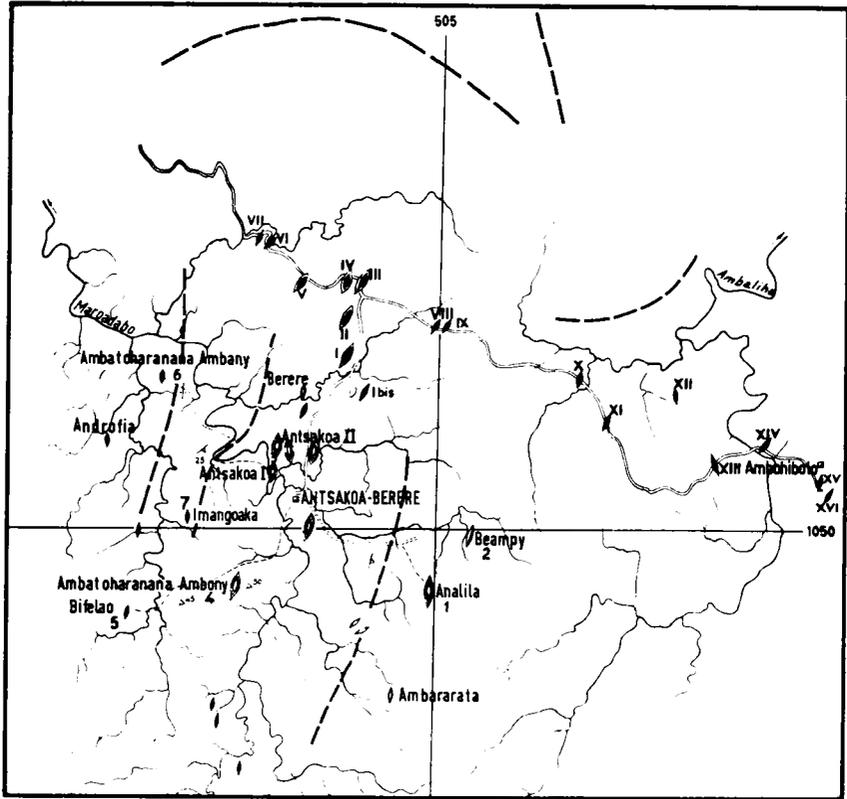
Les observations des types de pegmatites peuvent être faites sur la route d'Ambohibolo à Berere ainsi que sur de nombreuses pistes partant du campement de Berere-Antsakoa vers les différents chantiers (*fig. 6*).

TYPE 1

Points VI, VII, VIII, IX, X, XI, XV et XVI (fig. 6): pegmatites de faibles dimensions moins d'un mètre d'épaisseur et au maximum deux. A petits feldspaths avec biotite et rarement avec amphibole (*point XV*).

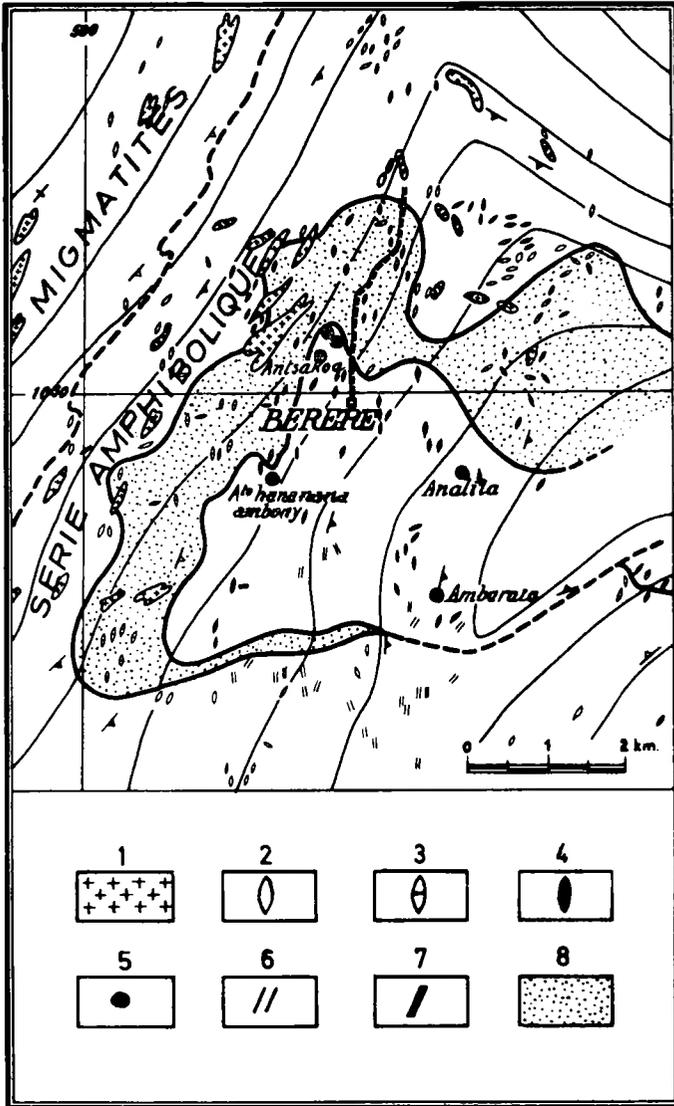
TYPE 2

Points V, IV, III, II et I: pegmatites à biotite avec une zone périphérique à grain relativement fin et à feldspaths grenus, suivie par une zone à feldspaths graphiques à cristaux pouvant se mesurer en dizaines de centimètres. Les dimensions individuelles de ces pegmatites deviennent un peu plus importantes, leurs



1. pegmatites à biotite
2. pegmatites à biotite avec une zone de feldspath graphique
3. pegmatites à deux micas souvent avec noyau de quartz et zone à perthites géantes
4. pegmatites à noyau ou à grandes poches de quartz, entourés par une zone à perthites géantes, elle même suivie vers les épontes par une zone à grain fin. Les grands prismes de béryl pierreux se localisent entre la zone à perthites géantes et le noyau ou les poches de quartz.

Fig. 6: Itinéraires pour l'identification des types de pegmatites dans la région de Berere



1. granite; 2. pegmatites à biotite avec ou sans structures graphiques; 3. pegmatites à deux micas souvent avec noyau de quartz; 4. pegmatites à perthites géantes avec muscovite, noyau de quartz et béryl pierreux; 5. pegmatites de grandes dimensions ayant été exploitées pour béryl pierreux; 6. Filons de quartz laiteux; 7. limites des zones des pegmatites; 8. zone avec pegmatites à deux micas.

Fig. 7. — Schéma géologique montrant la zonéographie des pegmatites de Berere (d'après P. GIRAUD, M. BERTUCAT et R. GIRAUDON 1957).

épaisseurs peuvent atteindre 3 à 10 mètres et les longueurs plusieurs dizaines de mètres.

Points 6 et 7: pegmatites d'Ambatoharanana et de Imangoaka de grandes dimensions et montrant une zonation interne un peu mieux marquée. A Ambatoharanana, on a une zone à grain moyen à biotite avec des blocs de feldspath graphique qui entoure un noyau de quartz. A Imangoaka on a une zone à grain moyen avec biotite entourant une zone à gros grain à biotite seule.

TYPE 3

Point XII: pegmatite avec une zone à grain fin à biotite et à feldspaths graphiques suivie d'une zone à grain plus gros et des perthites bien individualisées à muscovite entourant un noyau de quartz de faibles dimensions. Dans les éluviions on a trouvé de l'orthite. Les essais pour le béryl en gros prismes ont été négatifs mais il existe déjà de petits prismes de béryl. La pegmatite peut avoir une épaisseur de l'ordre de 40 mètres.

Point XIII: pegmatite à biotite et muscovite sans noyau de quartz dans la partie visible.

Points XIII et XIV: pegmatite à muscovite et biotite. Les affleurements sont très mauvais et on ne peut rien dire d'autre.

Point 1bis: pegmatite avec une zone à grain moyen à biotite et une zone à feldspath graphique, avec tourmaline, quelques poches avec muscovite, perthites, quelques béryls. On peut noter une faible albitisation. L'épaisseur peut être de 5 à 6 mètres.

Point 1ter: pegmatite avec une large zone à biotite dominante à feldspath graphique suivie par une zone à muscovite et biotite dans laquelle on rencontre des petits noyaux de quartz avec de la muscovite.

Point 2: pegmatite de Beseampy et point 5, pegmatite de Befilaho. Ces pegmatites ont de grandes dimensions et ont été reconnues pour leurs possibilités en béryl. On a aux épontes soit la zone à grain fin et à biotite, soit directement la zone à feldspath graphique; à cette zone fait suite une zone ou mieux des poches avec muscovite, biotite et des perthites plus ou moins grandes entourant des poches de quartz ou de véritables petits noyaux de quartz. Il y a un peu de béryl dans les poches à perthites ou autour des concentrations de quartz. En fait, ce

type montre bien les tendances des pegmatites à former trois zones qui se développeront pleinement dans les types 4-5-6 dont la description est donnée plus loin.

TYPE 4-5-6. *Pegmatites d'Antsakoa (trois grands filons), Analila, Ambararata et Ambatoharanana Ambony (point 4)*. Ces pegmatites sont de grandes dimensions, leurs longueurs dépassent les 150 mètres et peuvent atteindre 300 m, leurs épaisseurs peuvent arriver à 50 mètres. Ils ont en général trois zones bien individualisées:

— *une zone de bordure à grain moyen à muscovite dominante, mais dans laquelle on peut rencontrer quelques biotites et des feldspaths à structure graphique (photo 6);*

— *une zone à grandes perthites avec, entre elles, des amas de quartz et de muscovite (voir photo 16); c'est dans cette zone (photo 4) ou à son contact avec le noyau de quartz (photo 5) que l'on peut trouver des prismes de béryl.*

— *Noyau de quartz plus ou moins bien individualisé qui forme la partie centrale des immenses lentilles de pegmatite. Ce noyau de quartz peut être fortement développé comme à Ambatoharanana Ambony (photo 7) où les exploitations ont mis à jour la « quille » du noyau (photo 8); il peut ne se manifester que sous forme de concentrations (photo 9).*

Comme les autres filons des types 1, 2 et 3, les filons du type 4-5-6 sont recoupants et à bords nets (voir les photographies 10 et 11).

L'exploitation des pegmatites du dernier type a produit au total quelque 850 tonnes de béryl pierreux, et une cinquantaine de tonnes de columbo-tantalite, ce qui est relativement modeste. Les teneurs en béryl pierreux dans les zones à grandes perthites ont été en moyenne de l'ordre de 2 à 5 kilos au mètre cube, localement, il y a eu des teneurs plus fortes. Les teneurs en columbo-tantalite, récupérable à la main ont été en moyenne de l'ordre de 100 à 200 grammes au mètre cube.

Les coupes des pegmatites individuelles du type 4-5-6 ont déjà été données par P. GIRAUD, M. BERTUCAT et R. GIRAUDON (1957) ainsi que par H. BESAIRIE (1966), l'auteur ne reviendra pas sur cette question. Il convient de remarquer cependant que

l'emploi du terme « amas » de pegmatites est impropre, car d'après les coupes des auteurs précités, et d'après les propres observations de l'auteur, il s'agit de lentilles de grandes dimensions à contacts nets et réguliers, montrant une zonation interne assez régulière. Le terme « amas » signifierait plutôt quelque chose d'informe et de mal défini.

Sur le *tableau II* l'auteur essaye de reconstituer l'évolution des types de pegmatites en partant des pegmatites à biotite de faibles dimensions du type I pour arriver aux pegmatites géantes du type 4-5-6. Dans le cas de la région de Berere, par suite de l'absence de la tourmaline noire en quantités notables, et du manque complet des minéraux lithiques tels que le spodumène, l'amblygonite et les phosphates noirs, il est difficile d'établir plus de quatre types de pegmatites. Le *tableau II* montre que, comme dans la région d'Ampanramaïka-Malakialina, l'évolution se fait par rejet vers les épontes de la biotite et des structures graphiques et l'apparition progressive de la zone à perthites géantes et du noyau de quartz.

3. DÉVELOPPEMENT DES PHÉNOMÈNES SECONDAIRES

L'albitisation commence dans le type 3 et se développe d'une manière notable dans le type 4-5-6, dans lequel elle est accompagnée de columbo-tantalite. Elle peut se produire soit à la jointure des cristaux de perthites géantes (*photo 12*) soit suivant les contacts du béryl et du noyau de quartz (*photo 5*) soit le long des fissures et des filonnets de quartz recoupant la pegmatite (*photo 15*). Tous ces faits montrent clairement que l'albitisation s'est superposée à la pegmatite après sa complète cristallisation. Les solutions qui l'ont provoquée ont dû venir du dehors.

Il existe un autre phénomène secondaire: la biotisation, elle est particulièrement notable dans les pegmatites d'Analila. Ce phénomène peut affecter soit les perthites géantes soit le noyau de quartz; ils se manifestent en général par la fracturation des perthites ou du quartz et par la formation de grandes plaques de biotite le long des fractures (*photos 13 et 14*). Les fractures partent comme à partir d'un point d'impact, d'une manière

radiale. Vers le point de convergence de ces fractures, il se forme comme un nid, dans lequel, on peut trouver de l'euxénite. Le même phénomène existe d'ailleurs à Malakialina et dans la région Ankiperatra-Marivolanitra et à un beaucoup moindre degré, dans les autres régions décrites jusqu'à présent. Ce phénomène lui aussi, est nettement postérieur à la consolidation de la pegmatite. A.P. KALITA (1961) a décrit un fait semblable pour les pegmatites d'Alakourtti et de Priladoj (URSS). Pour lui, la biotitisation serait due à la circulation des eaux dans les roches basiques encaissantes, l'auteur, estime que comme ce phénomène peut se produire dans les pegmatites encaissées dans n'importe quelles roches, et qu'il affecte des pegmatites de types bien définis, il doit être dû à des solutions post-magmatiques d'un type spécial apportant outre le Fe, le Mg et le Ca des éléments tels que Ce, U, Th, Nb, Ta et Ti (N. VARLAMOFF, 1963).

4. ZONÉOGRAPHIE DES PEGMATITES DE BERERE

La zonéographie des pegmatites de Berere a été faite avec un très grand soin par P. GIRAUD, M. BERTUCAT et R. GIRAUDON (1957), qui ont dressé une carte au 1/20 000 du champ pegmatitique. Ils ont classé dans les pegmatites à biotite, les types 1 et 2 de l'auteur et ont conservé les deux autres types. Une réduction un peu simplifiée de leur carte est reproduite sur la *fig. 7*. Cette carte montre clairement l'existence de trois zones de pegmatites. Le schéma de la *fig. 8* montre la façon dont l'auteur conçoit la superposition de ces trois zones.

La région de Berere représente une zone entourée de petits pointements granitiques qui ne sont que des indications de l'existence en profondeur d'un massif granitique plus étendu qui dessine une dépression du toit à l'endroit du champs pegmatitique de Berere et qui était probablement la cause de la distribution des isogéothermes au moment de la mise en place des pegmatites. En Afrique, on peut rencontrer des zonéographies semblables dans les régions entourées de toutes parts par des granites.

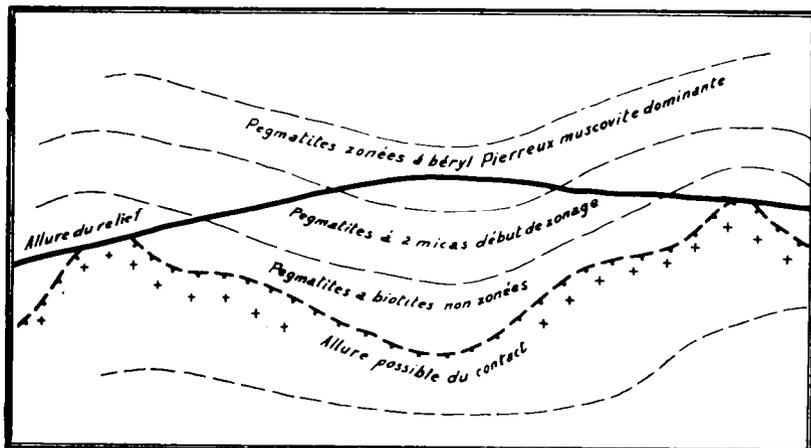


Fig. 8. — Schéma montrant la répartition spatiale de Berere.

5. ORIGINES DES PEGMATITES DE BERERE

P. GIRAUD, M. BERTUCAT et R. GIRAUDON (1957) considèrent qu'il convient de rattacher les pegmatites de Berere à une phase métasomatique tardive d'un cycle de métamorphisme général. Ils écrivent:

La métasomatose potassique est très nette dans les migmatites et peut être observée également dans certaines formations amphiboliques ou micaschisteuses. Les concentrations de solutions hydrothermales et d'éléments pneumatolytiques ayant donné les pegmatites pourraient être ainsi considérées comme des différenciés d'un « foyer de granitisation » au sens métamorphique de l'expression. Cette granitisation ayant essentiellement un caractère potassique, il est donc normal que nous ayons affaire à des pegmatites potassiques et que les phénomènes d'albitisation y soient peu développés.

A ce propos, l'auteur fait remarquer que d'après ses observations, il y a eu deux stades ou étapes bien distincts:

— *une première étape* de métamorphisme régional poussé jusqu'à la migmatitisation. Cette étape est caractérisée par la compression, la plasticité et le fluage des roches. Les roches encaissantes des épontes des pegmatites (exemple Ambatoharana Ambony, *photo 11*) ont été transformées de cette façon avec

parfois des recristallisations à grain centimétriques que l'on pourrait appeler parapegmatites. Ces parapegmatites épousent l'allure générale des plissements ou du fluage. Ces phénomènes se manifestent à l'échelle régionale affectant souvent une orogénèse entière;

— *une deuxième étape* qui suit d'assez loin la précédente; les roches perdent leur plasticité et peuvent se casser ou se fracturer (voir la même *photographie 11*). C'est pendant cette étape de détente que prennent place les intrusions granitiques et pegmatitiques. Les allures nettes et recoupantes des épontes (*photos 10 et 11*) témoignent d'une indépendance des pegmatites et des roches encaissantes. L'auteur reviendra plus loin et plus à fond sur cette question dans un chapitre spécial.

VIII. CHAMPS PEGMATITIQUE D'ANDROFIA

Il est possible de faire une coupe partielle qui permet d'observer les types 4-5-6 et le type 3 et de voir que les types de pegmatites établis à Berere sont valables pour cette région.

A Androfia même, on trouve les pegmatites du type 4-5-6 de même que sur la piste d'Androfia à Telomita dans les « lavaka ». Beaucoup plus loin on rencontre les pegmatites à 2 micas puis à biotite seule.

ANDROFIA, TYPE 4-5-6

Ambatoharanana: pegmatite avec une importante zone à grain moyen et à feldspaths graphiques, suivie d'une zone non continue avec perthites géantes entourant un noyau de quartz. Le béryl se trouve dans le voisinage du noyau de quartz; on a cependant trouvé de petits prismes dans la zone à grain moyen. Les teneurs ont été de l'ordre de 3 à 4 kilos au mètre cube de la zone à perthites géantes. La pegmatite a dû produire une cinquantaine de tonnes de béryl et quelques tonnes de columbo-tantalite qui était associée avec les parties albitisées de la pegmatite. La pegmatite a près de 200 m de longueur et a une épaisseur de 15 à 20 mètres.

Pegmatite des Tombeaux: Pegmatite avec une zone de bordure à grain moyen à muscovite et à feldspath graphiques, suivie d'une zone à grandes perthites reconnue par quelques tranchées qui montrent en même temps le noyau de quartz. Les tranchées n'ont pas donné beaucoup de béryl; cependant, on trouve des débris de prismes de béryl dans les éluvions. Les dimensions sont comparables à celles de la pegmatite précédente.

Piste d'Androfia à Telomita: On rencontre dans les lavakas de petites pegmatites à noyau de quartz et à muscovite, dans lesquelles on a exploité du béryl et de la columbo-tantalite.

TYPE 3. *Piste d'Androfia à Telomita*: A plus d'un kilomètre des dernières pegmatites à muscovite et à béryl, décrites ci-dessus, on trouve les pegmatites à structures graphiques et à 2 micas sans tourmaline notable.

TYPES 1 et 2. Encore plus loin sur la même piste, on peut observer d'abord les pegmatites du type 2 puis celles du type 1 comme ceux qui ont été décrits plus haut pour Berere. Vers Telomita on doit avoir un massif granitique affleurant et non encore cartographié ou un massif granitique sub-affleurant.

Ce passage rapide dans la région d'Androfia, montre clairement que les pegmatites de cette partie n'ont pas de tourmaline noire en quantités notables et qu'elles ressemblent à celles de la région de Berere. Il n'a pas été noté non plus de minéraux tels que le spodumène et l'amblygonite et pas de greisenification. L'albitisation est du même type que dans la région de Berere.

IX. CHAMPS PEGMATITIQUES DES ENVIRONS DE MAHARIDAZA

(Voir localisation *fig. 1*)

Dans cette région, qui à l'époque de la visite de l'auteur, était encore peu étudiée, on peut faire des coupes semblables à celles qui peuvent être faites dans les régions de Berere et d'Androfia. Cependant, les pegmatites semblent de faibles dimensions.

Comme exemple de type 4-5-6, on peut citer les pegmatites d'Anbohitrandriana; la pegmatite principale a 4 à 5 mètres d'épaisseur, la longueur ne doit pas dépasser 30 à 40 mètres, elle a une zone à grain fin à muscovite, suivie d'une zone à grandes perthites qui entoure un petit noyau de quartz. Le béryl se trouve dans la zone voisine du noyau de quartz.

Un autre fait digne d'être souligné: à Ampanobe on peut observer des pegmatites du type 2 à feldspaths graphiques et à biotite avec, au milieu, un chapelet de petits noyaux de quartz. La pegmatite a une épaisseur de 10 mètres. La pegmatite a dû subir un phénomène de biotitisation semblable à celui qui a été signalé pour les pegmatites des types 4-5-6 de Berere. Avec les grandes lames de biotite on trouve de l'euxénite, accompagnée en quantités moindres par la fergussonite, la monazite et la magnétite. L'auteur renvoie aux commentaires faits à propos des phénomènes de biotitisation des pegmatites de Berere.

X. COMPARAISON DES CHAMPS PEGMATITIQUES DE MADAGASCAR

On peut d'abord distinguer deux régions dont les pegmatites diffèrent sensiblement tant par leurs minéraux accessoires que par le développement des structures et des phénomènes secondaires.

Les pegmatites d'Ampanramaïka-Malakialina et celles de la vallée de la Sahatany sont caractérisées par un fort développement de la tourmalie noire dans les premiers types de pegmatites et par l'albitisation accentuée dans les derniers, dans lesquels, le remplacement des minéraux peut être presque complet particulièrement dans les types 7. La lépidolitisation et les dépôts d'autres minéraux qui l'accompagnent sont assez modérés dans les pegmatites des types 4-5 et 6 de la région Ampanramaïka-Malakialina et particulièrement abondants dans la vallée de la Sahatany où ils affectent les pegmatites des types 2 et 3.

Les pegmatites des régions de Berere, d'Androfia et de Maharidaza font partie d'une même grande structure géologique et sont très semblables. Elles se distinguent de celles des deux régions précédentes par l'absence presque totale de la tourmaline noire et par l'inexistence des manifestations de lépidolitisation et des dépôts de minéraux ultimes qui l'accompagnent. L'albitisation est peut-être un peu plus forte dans les pegmatites complètement albitisées du type 7 de la région d'Ampanramaïka où des filons de quartz ont été localisés et dessinent une zone bien nette. Dans cette région on a découvert des pegmatites à béryl en prismes centimétriques qui peuvent également appartenir au type 7.

La biotitisation secondaire est bien développée tant dans la région d'Ampanramaïka-Malakialina que dans celle de Berere-Androfia-Maharidaza.

Les structures graphiques quartz-feldspath sont plus abondantes et plus persistantes dans la région Berere-Androfia-Maharidaza.

A part ces différences, si on ne prend que les minéraux essentiels des pegmatites, c'est-à-dire, les feldspaths, le quartz, le béryl, et les micas biotite et muscovite, l'évolution des pegmatites est la même comme on peut le voir en comparant les *tableaux I et II*: dans les granites ou à leur voisinage on trouve des pegmatites à biotite et à petits cristaux de feldspath de faibles dimensions; plus loin, on rencontre des types avec un fort développement de structures graphiques qui progressivement sont de plus en plus rejetés vers l'éponte et disparaissent dans les types supérieurs; petit à petit la structure en zones s'organise et les dimensions augmentent; la zone à grandes perthites s'individualise de plus en plus et passe à celles à perthites géantes; le noyau de quartz suit la même progression de même que les prismes de béryl pierreux; les épaisseurs des pegmatites finissent par se mesurer en dizaines de mètres et les longueurs en centaines de mètres.

Cette évolution se fait à partir des granites. Comme il a été signalé plus haut, à l'occasion de la description des champs pegmatiques individuels, dans la région d'Ampandramaika-Malakialina on peut mieux différencier les types de pegmatites que dans la région Berere-Androfia-Maharidaza par suite de la présence de la tourmaline noire et de rares phosphates de lithium. Cependant la tendance générale de l'évolution est la même.

D'une manière absolue, les pegmatites de Madagascar sont pauvres en minéraux lithiques primaires tels que le spodumène, l'amblygonite et d'autres phosphates lithiques plus rares. Les phénomènes secondaires de lépidolisation et de dépôts de rubellite et de kuntzite, de même que la cristallisation de spodumènes transparents en association avec l'albitisation existent, mais à part les pegmatites de faibles dimensions de la vallée de la Sahatany, ils ont un développement limité.

La richesse des types 6 et des types 4-5-6 des pegmatites de Madagascar en béryl pierreux est, en revanche, très importante et les classe parmi les grands producteurs de ce minéral.

Il est à noter que l'albitisation qui affecte les pegmatites des types 4-5 et 6 des régions d'Ampandramaika-Malakialina et des types 4-5-6 des régions de Berere-Androfia-Maharidaza est généralement accompagnée par de la columbo-tantalite, tandis que celle de la vallée de la Sahatany qui n'atteint que les types 2 et 3, est suivie par la lépidolisation, les dépôts de rubellite, de

kuntzite, de spodumène transparent et d'autres minéraux géodiques. Cela est probablement dû à une différence de régime de refroidissement et de ce fait, à une différence essentielle des pneumatolytes et des solutions hydrothermales responsables des apports respectifs.

XI. COMPARAISON DES PEGMATITES DE MADAGASCAR AVEC LES PEGMATITES DE L'AFRIQUE

Au Mozambique (M. BETTENCOURT DIAS, 1957), il existe des pegmatites zonées dans la région Alto Ligonha où elles sont distribuées autour de granites équigranulaires. Les pegmatites d'intérêt économique correspondent au type 6 décrit pour la région Ampandramaïka-Malaikialina de Madagascar. Il semble qu'il y ait ici plus de minéraux lithiques primaires tels que spodumène et amblygonite qu'à Madagascar; on y signale également un peu de cassitérite qui est absente à Madagascar.

Dans le centre et l'ouest africain, il existe des pegmatites dont la zonation interne est moins nette que dans celles de Madagascar et dont certains types sont riches en cassitérite et columbo-tantalite et d'autres en béryl pierreux et en minéraux lithiques tels que spodumène et amblygonite (N. VARLAMOFF, 1971). Les relations de ces pegmatites et des massifs granitiques ont été étudiés d'une manière approfondie en République Centrafricaine, au Tchad, au Nigéria, en Côte d'Ivoire, au Sénégal et au Mali. Toutes les études soulignent les relations étroites qui existent entre les granites et les pegmatites.

L'auteur prendra les trois cas les plus typiques qui montrent l'évolution des pegmatites dans ou à partir des granites. Ces exemples feront voir que, quoique les pegmatites appartiennent à des orogénèses différentes et traversent des roches encaissantes les plus variées et ayant subi des stades divers de métamorphisme, l'évolution du processus pegmatitique reste semblable malgré quelques variantes d'ordre accessoire. Cette constance de l'évolution, jointe au fait que les pegmatites montrent des relations soutenues avec les granites, indique que les pegmatites granitiques ne sont pas un accident ou un fait occasionnel dû au métamorphisme, mais sont en relations avec la cristallisation des massifs granitiques et que leur répartition spatiale est due au

régime de refroidissement des granites, c'est-à-dire, à la répartition des isogéothermes autour des contacts.

1. COMPARAISON AVEC LES PEGMATITES DE LA RÉPUBLIQUE DÉMOCRATIQUE DU CONGO, DU RWANDA, DU BURUNDI ET DE L'UGANDA

On trouvera sur la *fig. 9*, les répartitions spatiales des types de pegmatites granitiques à métaux rares et des filons de quartz telles quelles peuvent être observées en République Démocratique du Congo, au Rwanda, au Burundi et en Uganda. Ces pegmatites appartiennent à l'orogénie burundienne.

Sur la figure sus-mentionnée on peut noter trois modes principaux de distribution des types de pegmatites et des filons de quartz par rapport aux contacts des granites (N. VARLAMOFF, de 1954 à 1971):

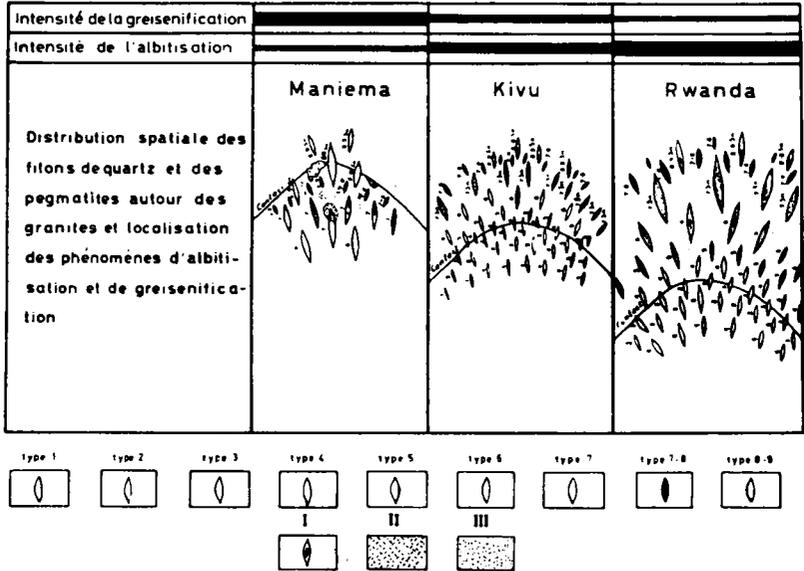
— les filons de pegmatites sont entièrement contenus dans les granites, ceux de quartz se situent de part et d'autre des contacts; les filons de pegmatites sont en général de faibles dimensions; le métamorphisme de contact est faible et peu étendu;

— les filons de pegmatites sortent partiellement des granites, les filons de quartz sont complètement localisés au-dessus des contacts; les dimensions des filons sont plus grandes; le métamorphisme de contact est plus fort et plus étendu;

— les filons de pegmatites sont surtout développés dans les roches encaissantes; les pegmatites des derniers types peuvent atteindre des dimensions gigantesques; le métamorphisme de contact est bien plus fort que dans les deux autres cas.

Ces variations qui se répètent dans des régions situées loin les unes des autres, sont dues aux positions des massifs granitiques par rapport à la structure géosynclinale et, par là même, aux régimes de refroidissement des granites. En définitive, la distribution spatiale des types de pegmatites reflète, d'une manière ou d'une autre, la répartition des isogéothermes autour d'un massif granitique en voie de cristallisation.

Les types de pegmatites et leur distribution spatiale au Rwanda, au Burundi, en Uganda et au Kivu ressemblent le mieux à celles que l'on peut observer dans la région d'Ampanramaïka-



- Type 9 filons de quartz avec cassitérite passant vers le haut vers les filons de quartz avec ou sans cassitérite et avec wolfram ou ferberite. Parfois, aux filons de quartz stériles.
- Type 8 filons de quartz avec muscovite et cassitérite passant vers le haut aux filons à wolfram ou ferberite.
- Type 7-8 filons de quartz avec grands cristaux de microcline frais ou albitisé, avec muscovite et avec cassitérite.
- Type 7 pegmatites pouvant être complètement albitisées avec quartz et muscovite; au Congo et au Rwanda elles contiennent du spodumène, de la cassitérite, de la columbo-tantalite, de la lépidolite et de petits prismes de quelques centimètres de beryl vert ou blanc.
- Type 6 pegmatites à beryl pierreux en gros prismes, à amblygonite, spodumène, lépidolite, columbo-tantalite et à microcline. Dans les pegmatites du Congo et du Rwanda, c'est dans ce type qu'apparaît le plus fréquemment le zonage interne.
- Type 5 pegmatite à muscovite abondante, à microcline et à quartz dont la proportion devient importante. Apparition de petits prismes de beryl pierreux et début d'albitisation.
- Type 4 pegmatites à muscovite et à tourmaline noire largement répandues dans toute la pegmatite.
- Type 3 pegmatites à deux micas proprement dits avec tourmaline noire et muscovite largement répandues à travers toute la pegmatite. L'importance des structures graphiques diminue progressivement vers le haut.
- Type 2 pegmatites à biotite et à tourmaline noire; on note un fort développement de structures graphiques quartz feldspath et quartz tourmaline. La muscovite est encore très rare; elle n'apparaît que dans les petits noyaux de quartz; elle montre souvent une sorte d'association graphique avec le quartz.
- Type 1 pegmatites à biotite à plagioclases et à microcline avec un peu de quartz.

Fig. 9. — Répartition spatiale des types de pegmatites granitiques à métaux rares en République Démocratique du Congo (Maniema et Kivu) au Rwanda et au Burundi.

Malakialina et aux types de base des pegmatites de la vallée de la Sahatany avec, toutefois, cette différence qu'en Afrique, dans les pays sus-mentionnés, les types 7, 7-8 et 8 contiennent de la cassitérite et le type 6 renferme des quantités beaucoup plus grandes de minéraux lithiques tels que le spodumène et l'amblygonite; en revanche, le type 4-5 et surtout les types 6 d'Ampandramaïka-Malakialina sont en moyenne plus riches en grands prismes de béryl pierreux. Quoique d'une façon absolue il existe des pegmatites au Kivu (Kobokobo) qui ont produit plus de cinq mille tonnes pour une seule pegmatite, c'est-à-dire presque autant que toutes les pegmatites de Madagascar.

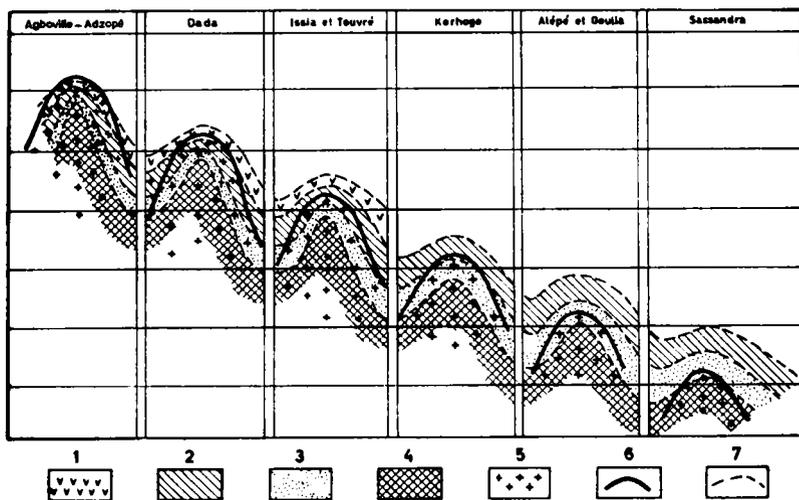
Les pegmatites des pays sus-mentionnés sont moins nettement zonées et le noyau de quartz n'est bien individualisé que dans les pegmatites du type 6, alors qu'à Madagascar, il commence à se former déjà dans le type 3.

Les structures graphiques se développent à Madagascar comme dans les pays sous revue, dans le type 3 de pegmatite, mais à Madagascar ces structures persistent aux épontes des types 4-5 qui les suivent.

A Madagascar, pratiquement tous les types de pegmatites se trouvent dans les roches encaissantes, cela témoigne d'une distribution plus large des isogéothermes, mais il n'y a pas de différence majeure dans la succession des types et dans l'évolution du processus pegmatitique.

2. COMPARAISON AVEC LES PEGMATITES DE LA CÔTE D'IVOIRE

En Côte d'Ivoire une belle synthèse des connaissances sur les pegmatites de l'orogénie éburnéenne a été faite par H. ADAM (1969). Cet auteur a établi des types de pegmatites et leurs distributions spatiales autour des granites en se basant sur quelques minéraux typomorphes. La *fig. 10* montre la distribution des principaux types de pegmatites. En gros, quoique les granites et les pegmatites appartiennent à une orogénèse beaucoup plus ancienne, les types de pegmatites évoluent de la même façon qu'au Kivu, Katanga, Rwanda, Burundi, Uganda. Comme l'indique H. ADAM, les pegmatites se répartissent autour des granites de diverses façons suivant que les granites se forment à faible



1. Pegmatites à muscovite spodumène, lépidolite et albite (types J et I du tableau).
2. Pegmatites à muscovite et albite (types E, G et H du tableau).
3. Pegmatites à biotite, muscovite et tourmaline (types C, D et E du tableau).
4. Pegmatites à biotite, magnétite et feldspaths (types A et B du tableau).
5. Roches granitiques.
6. Ligne de contact des granites avec les roches encaissantes.
7. Isogéothermes.

Remarque: L'auteur (*fig. 2*), comme D. SOULÉ DE LAFONT (*fig. 11*), ont pu noter les distributions des pegmatites en calottes emboîtées en étudiant les parties apicales des granites qui se disposaient bien pour ce genre d'observations. H. ADAM n'a pas observé ce mode de distribution en Côte d'Ivoire. Il a pu, cependant, établir les successions de zones de pegmatites.

Fig. 10. — Répartition spatiale des pegmatites granitiques à métaux rares en Côte d'Ivoire. (Cette figure est une version simplifiée de la Fig. 36 de la thèse de H. ADAM, 1969.)

ou à plus grande profondeur. Cela correspond très bien aux observations faites dans l'Est du Congo, au Rwanda, Burundi, et en Uganda. Ici, comme dans les pays précédents, les pegmatites recoupent n'importe quelles roches. De plus, H. ADAM fait remarquer que les pegmatites ne proviennent pas du métamorphisme, mais sont associées aux granites. H. ADAM, suppose que les granites proviennent des processus de granitisation, l'auteur les considère comme intrusifs.

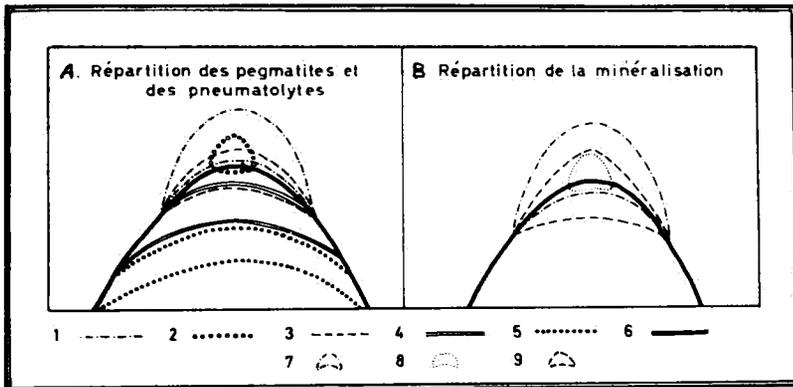
Les types de pegmatites de la Côte d'Ivoire, tout en étant de dimensions bien plus modestes, sont cependant semblables aux pegmatites de Madagascar, comme dans ces dernières, les types

6, 7 et 8 sont dépourvus de cassitérite et ne sont pas très riches en minéraux lithiques tels que spodumène et amblygonite.

3. PEGMATITES DU SÉNÉGAL ET DU MALI

Cet exemple est donné pour montrer que les faits observés dans les deux autres cas ne sont pas uniques, mais qu'ils se reproduisent en des points séparés par des grandes distances.

A la frontière du Sénégal et du Mali, D. SOULÉ DE LAFFONT (1958) a pu établir les successions des types de pegmatites et leurs répartitions spatiales qui sont schématisées sur la *fig. 11*. On constatera que c'est une répartition qui ressemble très fort à celles que l'on peut observer au Maniema, en République Démocratique du Congo, et que les pegmatites à minéraux lithiques se trouvent juste à la partie apicale des granites.



A. Répartition des pegmatites et des pneumatolytes

1. Limites de la zone des pneumatolytes.
2. Limites des pegmatites lithiques.
3. Limites des pegmatites à muscovite.
4. Limites des pegmatites à muscovite et biotite.
5. Limites des pegmatites à biotite.
6. Ligne de contact granites-roches encaissantes.

B. Répartition de la minéralisation

7. Zone à cassitérite.
8. Zone à spodumène.
9. Zone à columbo-tantalite.

Fig. 11. — Répartition des pegmatites granitiques à métaux rares au Sénégal et au Mali. (Cette figure est faite d'après celle de D. Soulé de Lafont 1958, p. 248, fig. 4.)

L'auteur a pu observer lui-même dans la région de Bougouni des pegmatites très riches en spodumène qui recoupaient des roches amphibolitiques et se trouvaient donc bien au dessus des coupoles granitiques. Cela signifie que dans cette partie de l'Afrique, comme dans les deux autres cas, les positions des types des pegmatites par rapport aux contacts peuvent varier suivant les positions des granites par rapport aux structures synclinales et les distributions des isogéothermes autour des granites.

XII. CONCLUSIONS SUR L'ORIGINE DES PEGMATITES GRANITIQUES A METAUX RARES DE MADAGASCAR

Dans ce qui précède, l'auteur a montré qu'en partant des granites ou de leurs environs immédiats, il était possible d'établir des types de pegmatites montrant une évolution progressive de la minéralogie et des structures. Cette évolution ressemble très fort à celles que l'on peut observer en différents points de l'Afrique où les relations entre les granites et les pegmatites ne sont pas discutables ainsi qu'il a été montré plus haut par trois exemples, et il en existe beaucoup d'autres (N. VARLAMOFF, 1971).

En Afrique, il a été montré de plus que la plus ou moins grande répartition des pegmatites entre les granites et les roches encaissantes était due à la profondeur de la mise en place du granite, à son régime de refroidissement et, en définitive, à la distribution des isogéothermes autour du granite (N. VARLAMOFF, 1971). Il en est de même à Madagascar où les pegmatites sont pratiquement toutes sorties dans les roches encaissantes. Il est probable que la distribution des isogéothermes autour des massifs granitiques était telle que cette distribution fut possible. Elle n'est pas en contradiction avec les observations faites en Afrique (N. VARLAMOFF, 1971; H. ADAM, 1969 et D. SOULÉ DE LAFONT, 1958), au contraire la distribution des pegmatites autour des massifs granitiques de la Grande Ile cadre très bien avec les faits établis sur le continent.

Les granites et les pegmatites qui les accompagnent sont post-métamorphiques et post-tectoniques; les pegmatites sont souvent recoupantes et en direction et en pendage ou suivant l'une de ces deux orientations; elles recoupent non seulement les strates mais aussi les directions de fluage, particulièrement, celles qui sont dues à la migmatitisation. Ces observations signifient qu'il y a eu au moins deux phases principales: l'une caractérisée par les hautes pressions et des températures relativement élevées produisant la plasticité et le fluage des roches ainsi que des

recristallisations typiquement dues au métamorphisme et l'autre, plus tardive, se produisant longtemps après lorsque les roches ont déjà perdu leur plasticité; lorsqu'au lieu de fluer elles pouvaient déjà se fracturer et lorsque la tectonique de compression avait déjà perdu sa force rendant possible l'existence et le maintien de fractures ouvertes pendant de longues périodes ce qui permet la cristallisation de cristaux gigantesques de microcline, de béryl pierreux, de micas et d'autres minéraux. En fait les deux phénomènes se sont passés dans deux « étages » différents du point de vue tectonique et thermique.

Cette superposition n'a rien d'étonnant, car de plus en plus, l'étude de l'évolution de la tectonique cassante des plate-formes continentales jointe aux recherches sur la croûte granitique et à l'activité du manteau, a tendance à montrer que la tectonique de fracturation des plate-formes ainsi que le magmatisme peuvent être « réactivés » à différentes époques et à différentes profondeurs et se superposer à tous les phénomènes géologiques précédents. Ce serait une des meilleurs explications des intrusions dites « post-tectoniques » en général et de celles des massifs granitiques en particulier.

Ces phénomènes de réactivation sont déjà prouvés pour les plate-formes russes, sibérienne et chinoise, on commence à démontrer leur existence pour les plate-formes de diverses époques du continent africain; pourquoi n'existeraient-ils pas à Madagascar? Leur étude sur toute l'étendue de la Grande Ile conduirait certainement à une meilleure compréhension, non seulement de la répartition des champs pegmatitiques, mais aussi des autres minéralisations.

D'autre part, sur la base de travaux statistiques considérables, A.A. BEUS (1971) conclut que la palingénèse des roches sédimentaires dans leur ensemble peut conduire qu'à la formation des roches granodioritiques et que les paragneiss ainsi que les migmatites sont, en fait, en composition granodioritique. Il conclut aussi que la production du granite et des minéralisations qui l'accompagnent nécessite l'apport à partir du manteau des éléments tels que O, Cl, F, H, Br, K, Li, Rb, Cs, Be, Sn, W etc. qui sont transportés sous forme d'ions et de radicaux complexes; en même temps pour qu'un granite puisse se former à partir des roches sédimentaires le départ de quantités considérables des

éléments tels que Ca, Mg, Fe, Mn, Ti, Cr, Ni, etc., est nécessaire. Dans tout cela, l'eau, ainsi que les autres éléments volatils jouent un rôle prépondérant, comme le prouvent les inclusions gazeuses tant des minéraux des granites que des pegmatites. A ce propos, il convient de remarquer avec A.A. BEUS que si au-dessus de 110 ° centigrade les argilites ont en moyenne 3,55 % d'eau et les schistes 2,27 %, les gneiss n'en ont plus que 0,82 %, de sorte que la dérivation des pegmatites et des fluides en quantités appréciables, à partir de leur transformation est difficile à concevoir. D'autre part leur fusion pure et simple ne produirait que des granodiorites dont les cortèges filoniens sont bien différents de ceux des granites.

Les récents travaux expérimentaux de R.H. JAHNS et de C.W. BURNHAM (1969) montrent que la cristallisation des magmas granitiques peut donner des magmas résiduels successifs de plus en plus riches en eau qui par cristallisation peuvent produire des pegmatites de diverses structures, en particulier les types de pegmatites identifiés sur le terrain.

On pourrait donc concevoir l'origine des pegmatites de la manière suivante:

— à une profondeur inconnue, granitisation et mobilisation des roches de la « couche granitique » qui en fait à une composition granodioritique (A.A. BEUS, 1971). La granitisation se produit grâce à des apports à partir du manteau des éléments chimiques rappelés plus haut;

— pendant une phase de réactivation, injection des granites en massifs circonscrits discordants dans les roches ayant déjà subi les effets de la tectonique, du métamorphisme et de la migmatitisation;

— cristallisation des granites avec production de différenciés qui sont injectés d'une manière pulsatoire dans les roches encaissantes en donnant naissance aux différents types de pegmatites, ainsi qu'aux fluides et solutions responsables de la production des phénomènes secondaires.

Ce schéma diffère sensiblement de ceux proposés par divers géologues de Madagascar qui font dériver les pegmatites de la « ressuée » des migmatites qui sont essentiellement riches en éléments ferro-magnésiens et en chaux.

Certes, il reste encore beaucoup à faire pour l'étude des pegmatites et notamment la poursuite des études structurales plus précises ainsi que des datations plus raffinées tenant compte des faits d'observation sur le terrain.

Maintenant que le schéma général a été établi, l'auteur compte pouvoir faire des études des inclusions gazeuses des minéraux de différents types de pegmatites et notamment des phases ultimes.

LISTE BIBLIOGRAPHIQUE

- ADAM, H. (1969): Les pegmatites du Géosynclinal Eburnéen en Côte d'Ivoire (*Thèse de doctorat ès-Sciences Naturelles, présentée à la Faculté des Sciences de l'Université d'Abidjan*, pp. 1-198).
- ARKHANGUELSKAIA, V.V., GUINSBURG, A.L., DAVIDENKO, I.V., RODIONOV, G.G. (1964): Géologie des gisements des éléments rares (*No. 22: questions de la géologie et de la genèse des pegmatites*, pp. 1-134, Nedra 1964, Moscou).
- BEHIER, J. (1954): Contribution à la minéralogie de Madagascar (1re partie) (*Travaux du Bureau Géologique de Madagascar*, pp. 1-30, 1960).
- (1960): Contribution à la minéralogie de Madagascar (*Ann. Géol. Mad.* XIX, 1960).
- BESAIRIE, H. (1962): La géochronologie à Madagascar en 1962 (*Annales géologiques de Madagascar*, fascicule no XXXIII, *Comptes rendus de la Semaine Géologique 1963*, Tananarive 1963, pp. 11-16).
- (1966): Gîtes minéraux de Madagascar (*Annales géologiques de Madagascar*, fascicule XXXIV, Tananarive 1966, pp. 1-432).
- BEUS, A.A. (1948): Zonage vertical des pegmatites d'après l'exemple du champ pegmatitique Aksou-Pouchtirou (chaîne de Turkestan) (en russe) (*Doklady, Académie des Sciences de l'URSS*, Nouvelle Série, t. LX, fascicule no 7, *Minéralogie*, pp. 1 235-1 238, 1948).
- (1957): Géochimie du Béryllium dans les pegmatites granitiques (en russe) (*Izvestia de l'Académie des Sciences de l'URSS. Série géologique*, fascicule no 8, pp. 3-15, 1957).
- (1960): Géochimie du Béryllium et types génétiques des gisements de Béryl (en russe) (*Académie des Sciences de l'URSS, Institut de la Minéralogie, de Géochimie et de la Cristallogénie des éléments rares*. Edité par l'Ac. des Scien. de l'URSS, Moscou, 1960, pp. 1-329).
- (1961): Géochimie du Lithium dans les processus de la métasomatose post-magmatique (Académie des Sciences de l'URSS Institut de la Minéralogie, de la Géochimie et de la Cristallogénie des éléments rares. Fascicule 7, pp. 50-60, 1961).
- , SEVEROV, E.A., SITIN, A.A., SUBOTIN, K.D. (1962): Les granites albitisés et greisenifiés (apogranites) (en russe) (*Académie des Sciences de l'URSS*, PP. 1-196, 1962).
- , DIKOV, U.P. (1967): Géochimie du Béryllium dans les processus de la formation des minéraux endogènes (Editions Nedra, Moscou, 1962).

- (1971): On the Origin of Ore-bearing Hydrothermal Solutions related to Siliceous and Intermediate igneous rocks (E. Raguin Scientific Colloquium, 5-7 april 1971, Paris).
- BETTENCOURT, Dias M. (1957): The pegmatites of Alto Ligonha (*Commission for Technical Co-operation in Africa South of Sahara. East-Central and Southern Committees for Geology. Second Meeting, Tananarive, 1957*, pp. 157-159)
- CAMERON, E.N. (1955): Concepts of Internal Structure of granitic pegmatites and their applications to certain pegmatites of South West Africa (*Trans. Geol. Soc. S. Afr. LVIII, 1, 1955*).
- , JAHNS, R.H., MCNAIR, A.H., PAGE, L.R. (1949): Internal Structure of granite pegmatites (*Econ. Geol. Monog. II*).
- DELBOS, L. (1963): Ages des minéralisations pegmatitiques et des roches encaissantes de la zone Ikalamavony-Matsiatra, centre ouest de Madagascar (*Annales géologiques de Madagascar, fascicule no XXXIII. Comptes rendus de la semaine géologique 1963, Tananarive 1963*, pp. 17-21).
- FERSMAN, A.E. (1931): Pegmatites, Léninegrad (Publié par l'Académie des Sciences de l'URSS, 1931).
- (1934): Géochimie (Léninegrad, t. II, Edité par l'Académie des Sciences de l'URSS, 1934).
- FOURNIER, L., HEURTEBIZE, G. (1963): Géologie de la région de Ikalamavony-Ampandramaika-Bekisopa Centre sud de Madagascar (*Annales géologiques de Madagascar, fasc. XXXIII, Comptes rendus de la Semaine Géologique 1963, Tananarive*, pp. 137-142).
- FRERE, G. (1963): La pegmatite à Béryl et Columbite A₄ Malakialina à Madagascar (*Annales Géologiques de Madagascar, fasc. XXXIII. Comptes rendus de la Semaine Géologique, 1963*, pp. 225-226).
- GEVERS, T.W. (1936): Phases of Mineralization in Namaqualand pegmatites (*Transactions of the Geological Society of South Africa, T. XXXIX, p. 331, 1936*).
- G'RAUD, P. (1956): Le champ pegmatitique de Berere (*Arch. Serv. Géol. Mad. A1017*).
- (1957): Les principaux champs pegmatitiques de Madagascar (CCTA Commission Coopération Technique en Afrique au Sud du Sahara. Géologie: Comités régionaux Centre, Est et Sud, Conférence de Tananarive, avril 1957, Comptes Rendus, Volume I, Service Géolog. de Madagascar, pp. 139-150).
- (1957): Le champ pegmatitique de Berere à Madagascar (Conférence de Tananarive, avril 1957, Comptes Rendus, Volume I, Service Géolog. de Madagascar, pp. 125-133).
- , BERTUCAT, M., GIRAUDON, R. (1957): Etude géologique et prospection de la feuille Betrandraka et du champ pegmatitique de Berere (*Trav. Bur. Géol. Mad., no 82*).

- GIRAUDON, R. (1962): Les pegmatites du Tassiat et leur cadre géologique (Mauritanie occidentale) (Compte rendu des Conférences tenues à Dakar, fasc. 1, Géologie Rapport présenté par le Bureau de Recherches Géologiques et minières. Dak. 63-B, pp. 1-10, 1962).
- GUIGUES, J. (1954-1955): Etude des gisements de pegmatites de Madagascar (*Trav. Bur. Géol. Mad.* nos 58 et 67, 1954-1955).
- (1956): Etude du champ pegmatitique d'Ampanramaïka-Malakialina (*Doc. Bur. Géol. Mad.*, no 109, 1956).
- GUINSBOURG, A.I. (1955): Caractéristique minéralo-géochimique des pegmatites lithiques (Académie des Sciences de l'URSS. Travaux du Musée Minéralogique, 1955, fasc. 7, pp. 12-55).
- HEURTEBIZE, G. (1963): Les champs filoniens pegmatitiques et quartzeux de la région Ikalamavony-Matsiatra à Madagascar (*Annales Géologiques de Madagascar*, fa. XXXIII. Comptes Rendus de la Semaine Géologique 1963, pp. 227-238).
- JACOBSON, R., WEBB, J.S. (1946): The pegmatites of Central Nigeria (*Geological Survey of Nigeria*, Bulletin no 17, 1946. 6 planches et 10 figures et 4 cartes hors-texte).
- JAHNS, R.H. (1955): The study of Pegmatites. (Economic Géology 15th Anniversary Volume 1905-1955, Part II, pp. 1 025-1 130, 1955).
- , BUNHAM, C.W. (1969): Experimental studies of pegmatite genesis. I. A model for the derivation and crystallization of granitic pegmatites (*Economic geology*, pp. 843-864, Vol. 64, no 8, December 1969).
- KALITA, A.P. (1961): Pegmatites à terres rares d'Alakourtii et de Priladoj (Académie des Sciences de l'URSS. Institut de Minéralogie de Géochimie et de Cristallogéochimie des éléments rares, pp. 1-119, Moscou, 1961).
- LACROIX, A. (1922-1923): Minéralogie de Madagascar (T. I-III, Paris, 1922).
- ROUBAULT, M.E., LENOBLE, A., GANGLOFF, A. (1952): Nouvelles observations sur les pegmatites de Madagascar. Congrès géologique international (*Comptes rendus de la 19e session Section VI*, La genèse des roches filoniennes, fasc. VI, pp. 179-199. Alger, 1952).
- DE SAINT OURS, J.: Etude générale des pegmatites (*Rapp. Annuel Serv. Géol. de Madagascar*, 1960, pp. 73-87).
- : Examen des champs pegmatitiques de Malakialina et Ampanramaïka (*Archives Serv. Géol. de Madagascar*, A.1645, 1960).
- SOULE DE LAFONT, D. (1958): Pegmatites lithiques et pneumatolytes stannifères au Soudan et au Sénégal (*Chronique des Mines d'Outre-Mer*, no 267, pp. 245-251, 1958).
- VARLAMOFF, N. (1954): Tendances actuelles dans l'étude des pegmatites à travers le monde: revue des travaux sur les pegmatites du Congo Belge et du Rwanda-Urundi; propositions d'une classifica-

- tion des pegmatites du Congo Belge et du Rwanda-Urundi (*Ann. Soc. Géol. de Belgique*, T. LXXVII, pp. B.245-267, 2 fig., 1964).
- , (1954): Répartition des types de pegmatites autour de la partie nord-ouest du grand massif granitique de Nyanza (Rwanda, Afrique) (*Ann. Soc. Géol. de Belgique*, T. LXXVIII, pp. 1-21, 2 fig., 1 planche hors texte).
 - , (1956): Transitions entre les pegmatites et les filons de quartz dans les massifs granitiques de régions stannifères du Maniema (Congo Belge) (*Ann. Soc. Géol. de Belgique*, T. LXXIX, pp. B.385-403, 4 fig., 8 photographies).
 - , (1957): Considérations sur la zonéographie et le zonage interne des pegmatites africaines (*Second meeting, East-Central and Southern Regional Committees for Geology*, Tananarive, 1957, pp. 95-136).
 - , (1958): Zonéographie de quelques champs pegmatitiques de l'Afrique centrale et les classifications de K.A. VLASSOV et de A.I. GUINSBOURG (*Ann. Soc. Géol. de Belgique*, T. LXXXII, pp. B.55-87, 1958, 3 fig., 3 tableaux).
 - , (1960): Relations spatiales entre les granites et les pegmatites en Afrique centrale (*Ann. Soc. géol. de Belgique*, T. LXXXIV, pp. 153-162, 1960).
 - , (1960): Relations spatiales entre les granites et les pegmatites en Afrique centrale et à Madagascar (*Bulletin de la Société géologique en France*, 7^e série, T. 11, pp. 711-722, 1960).
 - , (1961): Pegmatites à amblygonite et à spodumène et pegmatites fortement albitisées à spodumène et à cassitérite de la région de Katumba (Rwanda) (*Ann. Soc. géol. de Belgique*, T. LXXXIV, pp. 257-258, 1961).
 - , (1963): Les phénomènes de greisenification, d'albitisation et de lépidolitisation et leurs relations spatiales avec les granites et les pegmatites granitiques d'Afrique (*Ann. Soc. géol. de Belgique*, T. LXXXVI, Bull. 5, pp. B.285-332, 1963).
 - , (1968): Die Beryl- und Lithiumpegmatite Rwandas, des Kongo und Madagaskars (*Zeitschrift für Erzbergbau und Metallhüttenwesen*, Band XXI (1968), Heft 6, pp. 261-269).
 - , (1969): Transitions entre les filons de quartz et les pegmatites stannifères de la région de Musha-N'tunga (Rwanda) (*Ann. Soc. Géol. de Belgique*, Tome 92, pp. 288-308, 1969).
 - , (1971): Considérations sur les types de pegmatites et sur leurs répartitions spatiales dans et autour des granites du Centre et de l'ouest Africain (Colloque scientifique E. RAGUIN. Les roches plutoniques dans leurs rapports avec les gîtes minéraux, Paris, 5-7 avril 1971).

- VLASOV, K.A. (1946): Classification texturogénétique des pegmatites granitiques (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences de l'URSS*, t. III, 1946, no 9, pp. 837-840).
- , (1953): Les pegmatites, leur classification et genèse (Congrès géologique international. Comptes rendus de la 19^e session, Alger 1952. Section VI. La genèse des roches filoniennes (à l'exclusion des filons métallifères), fascicule VI, pp. 101-110, Alger 1953).

TABLE DES MATIERES

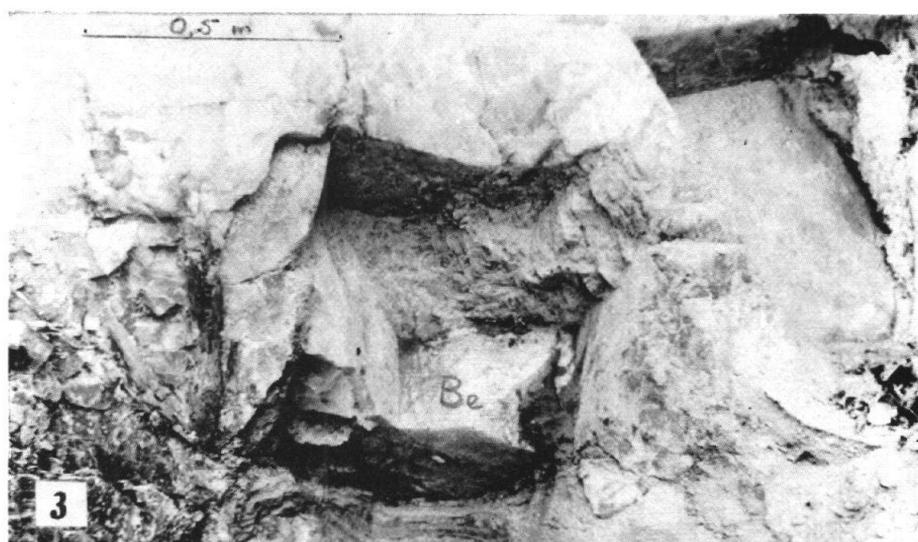
RÉSUMÉ	3
SAMENVATTING	4
I. Introduction	5
II. Historique des études relatives aux pegmatites de Madagascar	10
III. Notions sur les types de pegmatites et sur la zonéographie	14
IV. Choix d'une classification	17
V. Champs pegmatitiques d'Ampandramaika-Malakialina	20
1. Quelques considérations sur la géologie générale de la région	20
2. Observation sur le terrain de la succession des types de pegmatites à partir des massifs granitiques dans la région d'Ampandramaika	21
3. Itinéraire permettant de faire des coupes partielles	27
4. Phénomènes secondaires	31
5. Types et zonéographie des pegmatites	32
6. Origine des pegmatites	33
VI. Champs pegmatitiques de la vallée de la Sahatany	35
1. Quelques remarques sur la géologie de la région	35
2. Quelques considérations sur les pegmatites de la vallée de la Sahatany	35
VII. Champs pegmatitiques de Berere	
1. Quelques remarques sur la géologie générale de la région	40
2. Définition des types de pegmatites dans la région de Berere	41
3. Développement des phénomènes secondaires	46
4. Zonéographie des pegmatites de Berere	47
5. Origines des pegmatites de Berere	48
VIII. Champs pegmatitiques d'Androfia	50
IX. Champs pegmatitiques des environs de Maharidaza	52
X. Comparaison des champs pegmatitiques de Madagascar	53
XI. Comparaison des pegmatites de Madagascar avec les pegmatites de l'Afrique	56
1. Comparaison avec les pegmatites du Congo, du Rwanda, du Burundi et de l'Uganda	57
2. Comparaison avec les pegmatites de la Côte d'Ivoire	59
3. Pegmatites du Sénégal et du Mali	61
XII. Conclusions sur l'origine des pegmatites granitiques à métaux rares de Madagascar	63
Liste bibliographique	67
Table des matières	72



Pegmatites de type 4-5 entre Marivolanitra et Ankiperatra, *point 35 de la planche I hors texte*. Zone à grain moyen de l'éponte avec des tourmalines noires fixées perpendiculairement à l'éponte. Il existe des prismes de tourmaline de plusieurs dizaines de kilos. Des structures semblables se rencontrent aussi près de Malakialina.



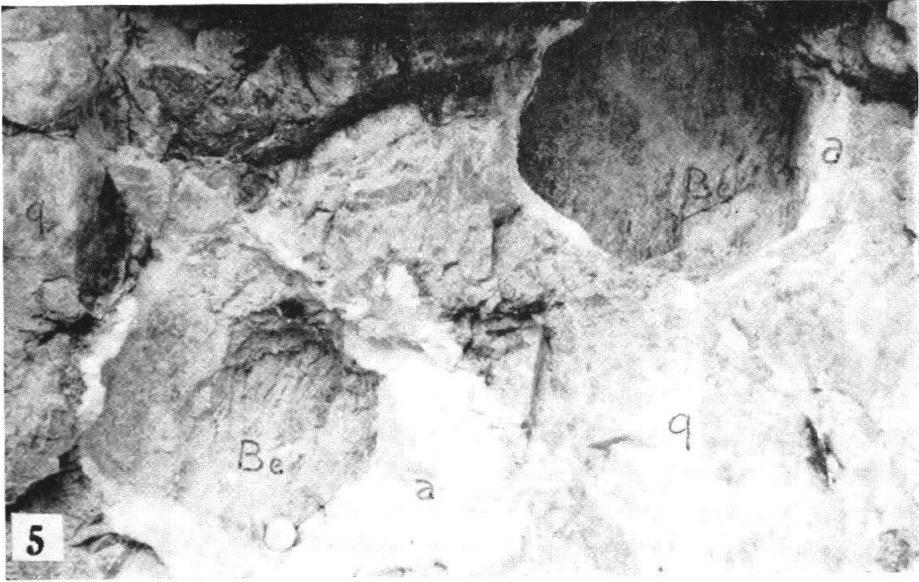
Pegmatite de Marivolanitra, zone à perthites géantes avec développement de muscovite entre les cristaux de perthite.



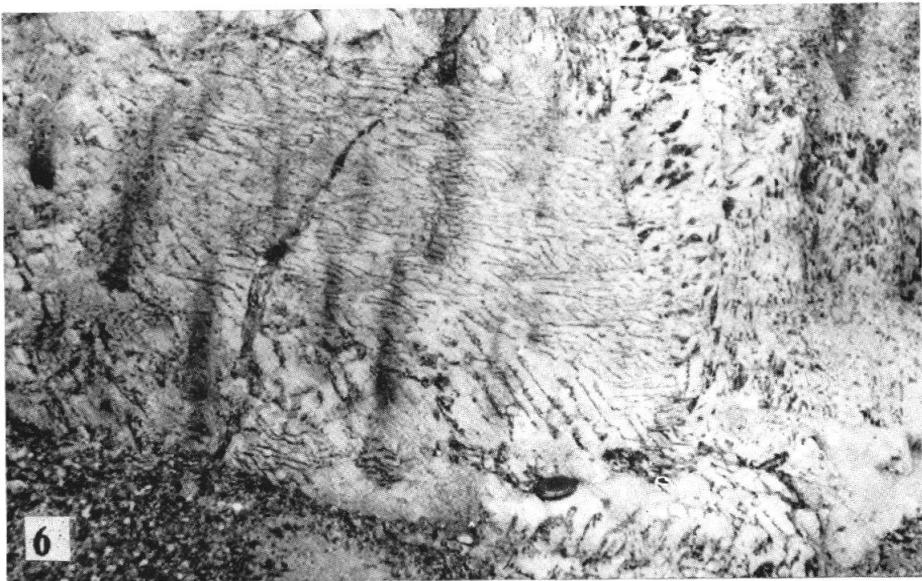
Malakialina, zone à amas de quartz et de grandes perthites, empreintes de prismes de béryl dans le quartz et restants de béryl (*Be*). Dans cette pegmatite de nombreux prismes de plusieurs tonnes ont été rencontrés.



Région de Berere, pegmatite d'Analila, prisme de béryl dans la zone à grandes perthites. La photographie ne montre que la racine du prisme qui était plus grand.



Région de Berere, pegmatite d'Antsakoa, prismes de béryl (*Be*) restés enchassés dans le quartz du noyau (*q*). A noter que l'albite (*a*) se développe autour des béryls et remplace aussi bien le béryl que le quartz.



Région de Berere, pegmatite d'Antsakoa, feldspaths graphiques qui se rencontrent dans la zone à grain moyen près des contacts.



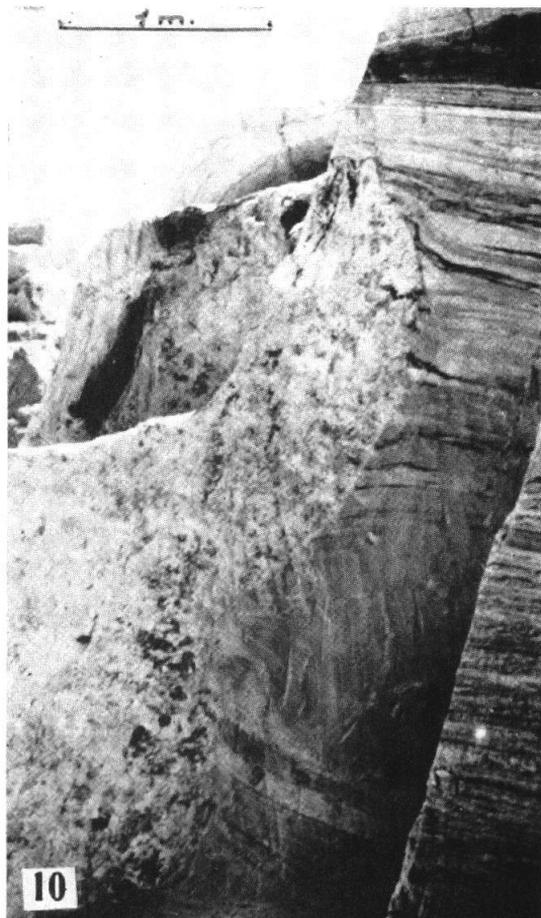
Région de Berere, pegmatite d'Ambatoharanana Ambony, noyau de quartz dégagé par l'exploitation de la zone à grandes perthites et à prismes de béryl pierreux.

Région de Berere, pegmatite d'Ambatoharanana Ambony, la photographie montre la quille du noyau de quartz (K) et l'exploitation de la quille de la pegmatite à l'endroit où se trouve ce groupe d'hommes.





Région de Berere, pegmatite d'Antsakoa, au lieu d'un noyau de quartz la pegmatite a des amas de quartz (*q*) entre, lesquels, on rencontre des parties avec muscovite, microcline et prismes de béryl. La photographie montre l'exploitation d'une poche riche.



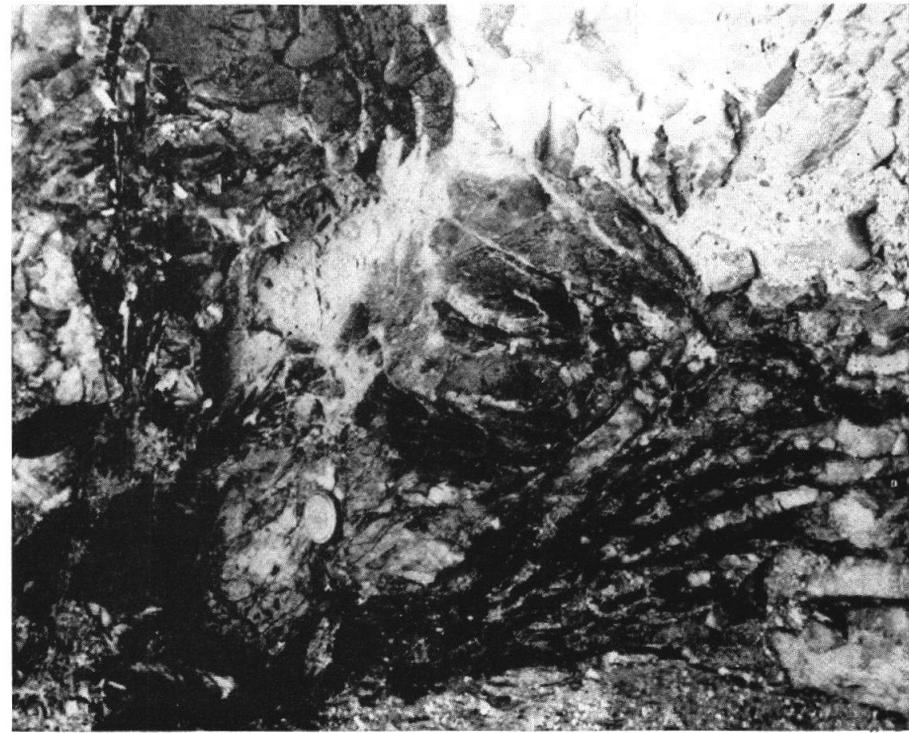
Région de Berere, pegmatite d'Ambatoharanana Ambony. Contact de la zone à grain fin de la pegmatite avec la série amphibolopyroxénique. A remarquer que le contact est net et que l'allure est nettement recoupante.



Région de Berere, pegmatite d'Ambatoharanana Ambony. La photographie représente une éponte du côté des roches amphibolopyroxéniques partiellement migmatitisées. Dans le coin droit, se trouve la pegmatite proprement dite (*P*). Il convient de noter qu'avant l'injection de la pegmatite, les migmatites de la série amphybolo-pyroxénique avaient été faillées; cela veut dire que la pegmatite s'est mise en place non seulement après les migmatites mais également après qu'elles avaient perdu leur plasticité et étaient aptes à se failler.



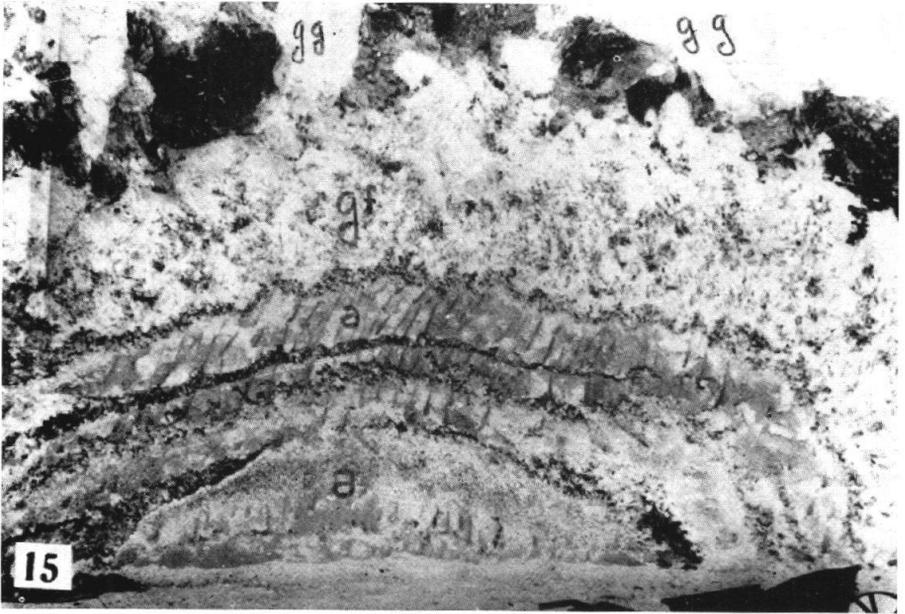
Région de Berere, pegmatite d'Analila, la photographie représente la zone à grain moyen (*gm*) et l'albitisation (*a*) qui se fait d'une manière assez rectiligne en suivant les contours des grandes perthites entre lesquelles dans des poches de muscovite et de quartz on trouve des prismes de béryl.



Région de Berère, pegmatite d'Analila, dans le noyau de quartz, brisé localement développement des lames de biotite secondaire.



Région de Berère, pegmatite d'Analila, détail des lames de biotite secondaire qui se forment dans des fractures d'allure radiante du noyau de quartz.



Région de Berere, pegmatite d'Analila. En bas de la photographie, zone à grain fin albitisée (*a*) suivant des filonnets de quartz. A noter les dépôts de muscovite autour de la zone albitisée. Au-dessus de cette zone on trouve la partie à grain fin non albitisée (*gf*) et la partie à gros grain (*gg*).



Région de Berere, pegmatite d'Analila. Muscovite cristallisant entre les grandes perthites.



Achévé d'imprimer le 9 juin 1972
par l'Imprimerie SNOECK-DUCAJU et Fils, S.A., Gand-Bruxelles