

LES GNEISS RUBANÉS À CORDIÉRITE ET GRENAT D'IHOSY: UN MARQUEUR THERMO-BAROMÉTRIQUE DANS LE SUD DE MADAGASCAR

CHRISTIAN NICOLLET

Centre Universitaire Régional de Tuléar (Madagascar) et Laboratoire de Pétrologie des Zones Profondes, U.S.T.L. 34060, Montpellier (France)

(Received December 12, 1983; revision accepted September 27, 1984)

RÉSUMÉ

Nicollet, C., 1985. Les gneiss rubanés à cordiérite et grenat d'Ihoso: un marqueur thermo-barométrique dans le sud de Madagascar. *Precambrian Res.*, 28: 175–185.

Le Précambrien de Madagascar représente une portion de la ceinture mobile mozambicaine. Certains auteurs considèrent que le sud de l'île montre d'est en ouest, des formations de plus en plus récentes: il s'agit de la séquence 'androyenne', ultramétamorphique à noyaux archéens à laquelle succèdent la séquence du 'Graphite' et la séquence du 'Vohibory'. Les gneiss rubanés et leptynites à cordiérite et grenat ont une répartition générale dans la séquence androyenne. Ces gneiss proviennent de la fusion anatectique de paragneiss. Les géothermomètres et baromètres basés sur les couples grenat-plagioclase, grenat-cordiérite, grenat-biotite nous permettent d'estimer les conditions de cette migmatitisation ($T > 700^{\circ}\text{C}$, $P_T = 5\text{--}5,5$ kbar, $PH_2O = 0,3\text{--}0,4 P_T$). Une certaine quantité de leptynites à cordiérite et grenat représente vraisemblablement les leucosomes de cet épisode migmatitique. La présence quasi-systématique dans les gneiss rubanés d'un assemblage à sept phases (quartz + plagioclase + feldspath potassique + grenat + biotite + sillimanite + cordiérite) qui, d'après les données expérimentales, semble ne se former que dans un intervalle de pression et de température limité ($T = 690\text{--}710^{\circ}\text{C}$, $P_T = 4\text{--}5,7$ kbar, $PH_2O = 0,2\text{--}0,5 P_T$) permet de considérer ces gneiss comme des niveaux marqueurs thermobarométriques très précis dans le sud de Madagascar. Cet épisode migmatitique pourrait appartenir à l'orogène panafricaine.

ABSTRACT

Nicollet, C., 1985. The banded cordierite and garnet-bearing gneisses from Ihoso: a geothermo-barometric tracer in southern Madagascar. *Precambrian Res.*, 28: 175–185.

The Precambrian of Madagascar appears to be a part of the Mozambiquian mobile belt. Some authors consider the southern part of the island to be constituted, from east to west, by more and more recent formations, i.e., the ultrametamorphic 'Androyan' sequence with an Archean reworked crust as the oldest one, first followed by the 'Graphite' sequence, then by the 'Vohibory' sequence. The cordierite and garnet banded gneisses and leptynites are widely distributed in the Androyan sequence. These gneisses result from an incipient partial melting of paragneisses. Garnet-plagioclase, garnet-cordierite and garnet-biotite geothermo- and geobarometers allow the estimation of the conditions of this migmatitisation ($T > 700^{\circ}\text{C}$, $P_T = 5\text{--}5.5$ kbar, $PH_2O = 0.3\text{--}0.4 P_T$).

Some cordierite and garnet leptynites represent the leucosomes of this anatectic event. Since previous experiments showed that the seven-phase assemblage (quartz + plagioclase + K feldspar + garnet + biotite + sillimanite + cordierite) only occurs in a limited range of pressure and temperature ($T = 690\text{--}710^\circ\text{C}$, $P_T = 4\text{--}5.7$ kbar, $PH_2O = 0.2\text{--}0.5 P_T$), we can consider these gneisses as very precise thermobarometric reference levels in southern Madagascar. This migmatic event may be contemporary with the Pan-African orogenesis.

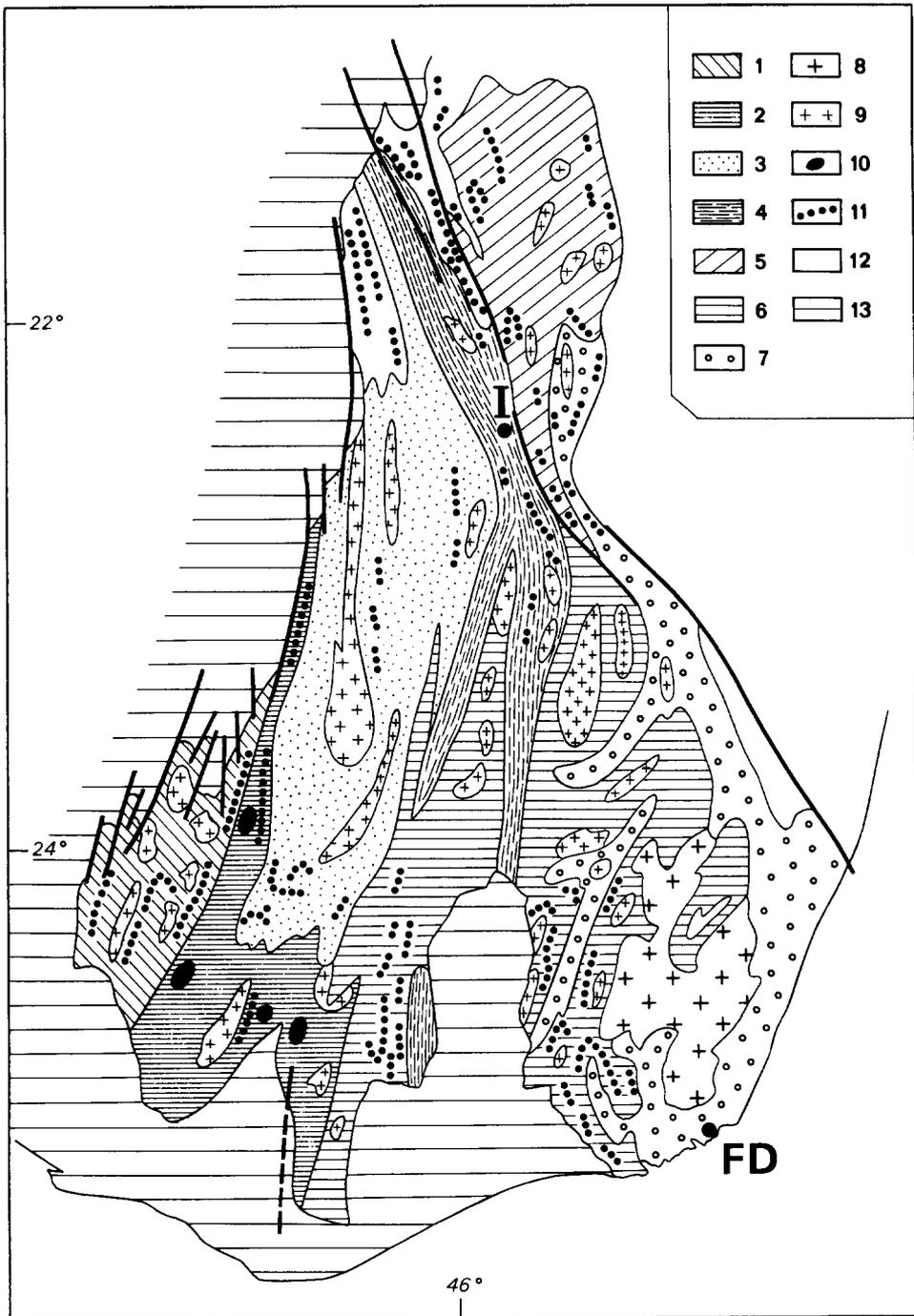
INTRODUCTION

Le Précambrien de Madagascar est constitué d'anciennes roches, parfois archéennes (Hottin, 1970; Vachette, 1979), fortement tectonisées et métamorphosées au cours d'une histoire polycyclique complexe qui s'est terminée par une reprise générale durant l'épisode panafricain. Les directions tectoniques sub-méridiennes du Précambrien suggèrent que Madagascar constitue une partie de la ceinture mobile Mozambicaine (Besairie, 1973).

L'intérêt du sud malgache (Boulangier, 1954; De la Roche, 1963; Noizet, 1969; Razafiniparany, 1969; Bazot, 1976, etc.) réside dans le fait que cette région montrerait sur une coupe est-ouest des formations de plus en plus récentes. Besairie (1967) définit ainsi la succession (Fig. 1): séquence androyenne, ultramétamorphique présentant des noyaux archéens ($>2,6$ Ga: Vachette, 1979), la séquence du Graphite et la séquence du Vohibory (= 1,2 Ga ? : Vachette, 1979). Cette succession qui ne fait pas l'unanimité (e.g., Noizet, 1969; Chantraine, 1970) est certainement une vue simplifiée:

Fig. 1. Carte simplifiée des principales unités pétrographiques du sud malgache (d'après Besairie, 1970 et le 1/1000 000 ème modifiés). Séquence du Vohibory: 1 — Formation du Vohibory: gneiss amphiboliques, amphibolites, marbres. Séquence du Graphite: 2 — Formation d'Ampanihy: gneiss à biotite et/ou amphibole brune, gneiss à graphite, leptynites à grenat. Séquence androyenne: 3 — Formation de l'Horombe: leptynites à grenat (\pm cordiérite et sillimanite), rares pyroxénites; 4 — Formation d'Ihoso: gneiss rubanés à cordiérite et grenat, leptynites à cordiérite; 5 — Formation de Tsitondroina: migmatites et leptynites; 6 — Formation de Tranomaro: leptynites, gneiss rubanés à cordiérite; cipolins, pyroxénites werneritiques, werneritites, charnockites; 7 — Formation de Fort Dauphin: leptynites et gneiss à cordiérite; 8 — Charnockites et granites; 9 — Granites et orthogneiss; 10 — Anorthosites; 11 — Cipolins et marbres; 12 — Précambrien indifférencié; 13 — Formations post précambriennes. I, FD: Villes d'Ihoso et de Fort Dauphin.

Fig. 1. Simplified geological map of the main petrographic series of Southern Madagascar (after Besairie, 1970 and the 1/1000 000 scale map). Vohibory sequence: 1 — Vohibory formation: amphibolitic gneisses, amphibolites, marbles; Graphite sequence: 2 — Ampanihy formation: biotite and/or brown hornblend gneisses, graphite gneisses, garnet leptynites; Androyan sequence: 3 — Horombe formation: garnet leptynites (\pm cordierite and sillimanite), rare pyroxenites; Ihoso formation: banded cordierite and garnet bearing gneisses, cordierite leptynites; 5 — Tsitondroina formation: migmatites and leptynites; 6 — Tranomaro formation: leptynites, banded cordierite bearing gneisses, cipolins, werneritic pyroxenites, werneritites, charnockites; 7 — Fort Dauphin formation: cordierite and garnet leptynites and gneisses; 8 — Charnockites and granites; 9 — Granites and orthogneisses; 10 — Anorthosites; 11 — Cipolins and marbles; 12 — Undifferentiated precambrian; 13 — Post precambrian cover formations. I, FD: Towns of Ihoso and Fort Dauphin.



en effet, il existe vraisemblablement des formations protérozoïques tardives dans la séquence androyenne, comme le suggère l'abondance de formations carbonatées dans certaines régions (Fig. 1). Cette succession permet toutefois de considérer le sud de Madagascar comme une région favorable pour essayer de caractériser les épisodes tectono-métamorphiques qui ont affecté cette portion de la ceinture mobile mozambicaine.

Les principales unités pétrographiques du sud de Madagascar sont représentées sur la Fig. 1. On remarque l'importance des gneiss rubanés et leptynites à cordiérite et grenat dans la séquence androyenne. Noizet (1969) signale que ces gneiss rubanés sont des roches très communes dans le sud-est, formant des bancs que l'on peut suivre sur plusieurs kilomètres. Ils sont particulièrement bien représentés dans la formation d'Ihosy où ils constituent un niveau repère de 1000 à 3000 m d'épaisseur reconnu sur environ 300 km de long (Bazot, 1976). L'association minéralogique des gneiss rubanés rencontrés dans les diverses formations du sud-est est: quartz, feldspath potassique, plagioclase, biotite, grenat, cordiérite, sillimanite, spinelle vert, magnétite, ilménite (De la Roche, 1963; Noizet, 1969; Besairie, 1970).

CONDITIONS DE GISEMENT ET ASSEMBLAGES MINÉRALOGIQUES DES GNEISS RUBANÉS

Une carrière à l'entrée d'Ihosy (colline de Lalanandro) montre:

- des gneiss finement rubanés sombres et bleutés;
- des gneiss mélanocrates hyperbiotitiques; ces gneiss forment des bancs d'épaisseur généralement décimétrique, lenticulaires et concordants avec la foliation des gneiss rubanés;
- des filons leucocrates, de quelques mètres d'épaisseur, de leucogranites et de granodiorites sécants par rapport à la foliation des gneiss. Besairie (1974) signale un filon de charnockite. A dix kilomètres à l'ouest de la ville d'Ihosy, sur le bord est du plateau de l'Horombe, les gneiss mélanocrates constituent des bancs massifs dépassant la dizaine de mètres d'épaisseur. Ils sont intercalés avec des bancs leucogranitiques concordants. Les assemblages minéralogiques de ces différentes roches sont donnés dans le Tableau I. Les minéraux (à l'exception de ceux en inclusions) sont à l'équilibre. Ils ne sont pas zonés.

Les gneiss rubanés sont composés de l'alternance de niveaux millimétriques sombres et clairs de composition minéralogique identique mais dans lesquels la proportion des minéraux varie. Les minéraux à l'équilibre: quartz, plagioclase, feldspath potassique, biotite, grenat, cordiérite, sillimanite composent un assemblage à sept phases étudié par Lee et Holdaway (1977). La cordiérite est abondante en cristaux pluricentimétriques, xénomorphes et poecilites, de couleur bleu marine à gris. Il s'agit d'un des plus beaux spécimens de cordiérite du monde (Bariand et al., 1977) exploité comme pierre semi-précieuse ('saphir d'eau'). Elle englobe les autres minéraux et peut contenir

TABLEAU I

Assemblages minéralogiques des roches types de la formation d'Ihosey. 1: sillimanite dans la cordiérite, 2: sillimanite + biotite dans le grenat, 3: sillimanite dans le grenat

TABLE I

Mineralogical assemblages for the typical rocks from the Ihosey formation. 1: sillimanite within cordierite, 2: sillimanite + biotite within garnet, 3: sillimanite within garnet

	Ih 12	Ih 11	Ih 1	Ih 2	Ih 4	Ih 10	Ih 5	Ih 7	Ih 6	41C
Quartz	+	+	+	+	+	+	+	+	±	—
Fk	+	±	±	+	+	+	—	—	—	—
Plagioclase	+	+	+	+	+	+	—	—	—	—
Biotite	+	+	+	±	±	—	+	+	+	+
Grenat	+	±	+	—	—	—	+	+	+	—
Cordiérite	+	+	±	±	+	—	+	+	+	+
Sillimanite	+	+	± ¹	+	± ¹	±	± ²	± ^{1,3}	—	+
	Gneiss rubanés			Filons leucocrates			Gneiss mélanocrates			

en inclusion des fibres de sillimanite et du zircon à halos pléochroïques jaune orangé. Les lits sombres du gneiss rubané sont riches en sillimanite (contenant environ 1% de FeO) qui inclut de la hercynite (Tableau II), de la magnétite, de l'ilménite et vraisemblablement de la Pyrite. Dans les bandes claires, le contact entre l'andésine (Tableau II) et la mésoperthite rare est souvent jalonné de myrmékite. Le grenat a un diamètre moyen d'un demi-centimètre. Il s'agit d'un almandin avec 22% de pyrope. Biotite et quartz se répartissent sélectivement dans les rubanements millimétriques. Les rubanements clairs s'épaississent parfois et forment des lentilles quartzofeldspathiques à texture grenue dans lesquelles les minéraux ferromagnésiens sont rares ou absents.

Dans les *gneiss mélanocrates*, la biotite est toujours très abondante; les minéraux felsiques peuvent être absents (par ex. 41C). La paragénoise est: biotite, cordiérite, sillimanite ou grenat. Souvent, le quartz est présent (par ex. Ih 5 et Ih 7). Dans les gneiss mélanocrates analysés, provenant du bord du plateau de l'Horombe, la biotite, la cordiérite et le grenat (à l'exception d'un grenat inclus dans une cordiérite dans Ih 5) présentent des rapports Mg/Mg + Fe plus élevés que dans les minéraux du gneiss rubané provenant de la carrière d'Ihosey (Tableau II). Dans les paragénoises à grenat, la sillimanite, lorsqu'elle est présente, est incluse dans la cordiérite et/ou dans le grenat; dans ce deuxième cas, elle peut être associée à de la biotite. Signalons la présence de magnétite et de spinelle vert.

La texture est grenue au coeur des *filons de leucogranites* (Ih 2, Ih 4, Ih 10) de composition minéralogique identique à celle des niveaux clairs des gneiss rubanés. La proportion de quartz est élevée (jusqu'à 40% de l'en-

TABLEAU II

Composition chimique des minéraux; * grenat inclus dans la cordiérite
(Analyses réalisées au Service Microsonde Sud de l'USTL de Montpellier par A. Leyreloup)

TABLE II

Analyses of minerals; * garnet within cordierite

	Cordiérite			Biotite			Grenat			Plagioclase			FK		Hercynite	
	Ih 11	Ih 5	Ih 7	Ih 11	Ih 5	Ih 7	Ih 11	Ih 5	Ih 7	Ih 5*	Ih 7	Ih 11	Ih 10	Ih 10	Ih 10	Ih 11
SiO ₂	50,61	50,29	50,37	36,87	37,73	37,53	36,42	37,00	36,98	39,26	36,98	58,97	61,31	65,18	—	—
Al ₂ O ₃	34,59	34,04	34,85	17,21	18,27	18,52	23,36	23,88	22,83	22,83	23,84	27,54	27,30	19,48	61,94	—
FeO*	6,35	5,44	5,84	18,12	15,21	15,12	33,57	26,68	30,76	30,76	27,94	—	—	—	35,5	—
MnO	0,05	0,04	0,07	0,08	0,01	—	1,31	0,26	0,43	0,43	0,26	—	—	—	—	—
MgO	9,41	10,26	10,05	11,81	12,92	12,89	5,70	9,59	4,97	4,97	9,63	—	—	—	—	—
CaO	0,02	0,04	0,01	—	0,02	0,02	1,16	1,58	2,64	2,64	1,53	8,21	7,13	0,09	—	—
Na ₂ O	0,06	0,10	0,02	0,14	0,14	0,11	—	—	0,01	0,01	—	6,74	7,44	1,29	—	—
K ₂ O	0,01	—	—	10,44	9,92	9,89	0,04	—	—	—	0,02	0,15	0,18	15,51	—	—
TiO ₂	—	—	—	4,00	2,28	2,44	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Total	101,1	100,21	101,21	98,62	96,55	96,64	101,56	99,03	100,90	101,24	101,64	103,36	101,6	101,6	102,21	—
Nombre d'oxygènes	18	—	—	22	—	—	24	—	—	—	—	32	—	32	—	32
Si	5,009	5,007	4,973	5,416	5,543	5,507	5,714	5,742	6,07	6,07	5,701	10,363	10,555	11,85	—	—
Al	4,037	3,996	4,057	2,981	3,165	3,204	4,312	4,359	4,162	4,162	4,325	5,706	5,542	4,17	15,838	—
Fe	0,526	0,453	0,482	2,226	1,869	1,856	4,390	3,450	3,978	3,978	3,590	—	—	—	6,439	—
Mn	0,004	0,003	0,006	0,004	0,001	—	0,174	0,034	0,056	0,056	0,084	—	—	—	—	—
Mg	1,388	1,523	1,479	2,586	2,829	2,819	1,342	2,233	1,145	1,145	2,228	—	—	—	—	—
Ca	0,002	0,004	0,001	—	0,003	0,003	0,195	0,263	0,437	0,437	0,253	1,546	1,315	0,02	—	—
Na	0,012	0,019	0,004	0,04	0,04	0,031	—	—	0,003	0,003	—	2,297	2,484	0,45	—	—
K	0,001	—	—	1,957	1,86	1,852	0,008	—	—	—	0,010	0,034	0,04	3,6	—	—
Ti	—	—	—	0,442	0,252	0,269	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
				Alm			71,96	57,69	70,82	70,82	58,8	Or	0,87	1,03	88,45	—
				Py			22	37,34	20,39	36,49	Ab	59,25	64,70	11,06	—	—
				Sp			2,85	0,57	1,00	0,56	An	39,88	34,27	0,49	—	—
				Gr			3,2	4,40	7,79	4,14	—	—	—	—	—	—

semble des minéraux). Le feldspath potassique (Tableau II) est finement perthitique ou bien forme des exsolutions dans le plagioclase antiperthitique. Celui-ci est légèrement plus sodique que le plagioclase du gneiss rubané (Tableau II). Les myrmékites sont abondantes. La sillimanite, incluse dans la cordiérite forme de rares fuseaux. La cordiérite avec la biotite ou le grenat constituent parfois des amas centimétriques irrégulièrement répartis dans la roche. Un filon de granodiorite (Ih 1) contient du zircon en abondance et des grenats millimétriques régulièrement répartis dans la roche.

On note, dans les filons leucocrates et les gneiss mélanocrates (mais pas dans les gneiss rubanés), que le grenat, la sillimanite et le quartz d'une part, le quartz, la biotite et la sillimanite d'autre part, n'existent pas ensemble à l'équilibre.

PETROGENESE

Le fait que les minces rubanements clairs des gneiss rubanés montrent une texture grenue et une composition minéralogique similaire à celle des filons de leucogranites suggère qu'ils représentent les leucosomes produits par la fusion partielle commençante de paragneiss. Les filons de leucogranites semblent s'être formés par l'accumulation des leucosomes et seraient ensuite montés en traversant les gneiss rubanés qui seraient migmatitiques. Les roches mélanocrates représentent les restites de l'anatexie.

Selon Holdaway et Lee (1977), l'assemblage à sept phases dans les gneiss rubanés implique l'association de tous les réactants et produits de la réaction: biotite + sillimanite + quartz \rightleftharpoons cordiérite + grenat + feldspath potassique + Vapeur au cours de la fusion granitique. Le fait que quartz, biotite et sillimanite ne soient jamais rencontrés ensemble à l'équilibre dans les restites, suggère que les six minéraux de la réaction précédente ne sont plus stables après l'extraction du liquide granitique: la réaction est déplacée vers la droite. Par ailleurs, la présence sporadique de sillimanite ou grenat entouré de cordiérite et le fait que grenat, sillimanite et quartz ne soient pas en équilibre dans les restites indiquent que cette instabilité peut être due à la réaction: grenat + sillimanite + quartz + vapeur \rightleftharpoons cordiérite. Ces deux réactions sont contrôlées principalement par une substitution du fer et du magnésium dans la cordiérite, le grenat et la biotite. La répartition de ces deux éléments entre ces minéraux a été étudiée par de nombreux auteurs, ce qui a permis d'élaborer des géothermomètres basés sur les couples biotite—grenat (Thompson, 1976; Holdaway et Lee, 1977; Goldman et Albee, 1977; Ferry et Spear, 1978, etc.) et grenat—cordiérite (Thompson, 1976; Wells, 1979). Nous avons appliqué ces géothermomètres sur un gneiss rubané migmatitique contenant l'assemblage à sept phases (Ih 11) et sur deux restites (Ih 5 et Ih 7). Le gneiss rubané provient de la carrière d'Ihosy, tandis que les restites sont recueillis sur le bord Est du plateau de l'Horombe, dix kilomètres à l'ouest de l'affleurement précédent. La coexistence des minéraux à l'équilibre; plagioclase, grenat, sillimanite et quartz dans le gneiss rubané

permet d'utiliser également le géobaromètre grenat-plagioclase (Ghent, 1976; Martignole, 1978; Ghent et Stout, 1981) basé sur la répartition du calcium entre ces deux minéraux au cours de la réaction: anorthite = grossulaire + sillimanite + quartz. Celle-ci semble confirmée par la diminution du pourcentage en anorthite entre le plagioclase du gneiss rubané et celui du leucogranite. Les résultats sont résumés dans le Tableau III et la Fig. 2. La calibration de Ferry et Spear (1978) ne peut être utilisée car les biotites sont trop alumineuses. L'analyse du couple grenat-biotite donne des résultats similaires avec les géothermomètres de Thompson (1976) et Holdaway et Lee (1977) tandis que les températures obtenues avec celui de Goldman et Albee (1977) sont manifestement trop élevées, en particulier pour Ih 5 et Ih 7. Par contre, le couple grenat-cordiérite indique des températures systématiquement plus faibles. Le géobaromètre grenat-plagioclase donne, selon les auteurs, un intervalle de pression de 1 à 1,5 kbar. La présence d'un assemblage à sept phases dans le gneiss migmatitique Ih 11 permet d'appliquer le modèle thermodynamique de Lee et Holdaway (1977): connaissant le rapport $Fe/Fe + Mg$ de la cordiérite, ce modèle permet d'estimer les conditions thermodynamiques de la migmatisation commençante. Celles-ci

TABLEAU III

Estimation P , T des assemblages des gneiss à cordiérite et grenat

TABLE III

 P , T field for cordierite and garnet gneisses

		Ih 11	Ih 7	Ih 5
Plagioclase— grenat	G = Ghent (1976)	600°C 2,9 kbar	700°C 4,3 kbar	
	M = Martignole (1978)	3,4 kbar	4,6 kbar	
	G.S. = Ghent et Stout (1981)	4,1 kbar	5,6 kbar	
Grenat— biotite	T = Thompson (1976)		675°C	844°C
	H.L. = Holdaway et Lee (1977)	4 kbar 7 kbar	673°C 684°C	818°C 830°C
	G.A. = Goldman et Albee (1977)		743°C	1420°C(?) 1562°C(?)
Cordiérite— grenat	Thompson (1976)		624°C	826°C
	Wells (1979) ($P = 4$ kbar)		630°C	831°C
Assemblages à 7 phases	Lee et Holdaway (1977)	$T = 700^\circ\text{C}$ $P_T = 5,4$ kbar $PH_2O = 0,3-0,4$ PT		805°C 810°C

sont: $T = 700^{\circ}\text{C}$, $P_T = 5,4$ kbar, $PH_2O = 0,3-0,4 P_T$. La température estimée pour les résidus réfractaires du plateau de l'Horombe est supérieure à 800°C . Cela suppose qu'à cet affleurement, les températures atteintes au cours de l'anatexie sont plus élevées que dans la vallée d'Ihosy. Dans ce cas, le grenat inclus dans la cordiérite du gneiss mélanocrate Ih 5, de composition chimique voisine de celle du gneiss rubané de la carrière d'Ihosy, pourrait être un témoin du début de l'anatexie. Après extraction du liquide granitique, le restite pourrait persister à des températures plus élevées sans fondre.

Des conditions pression-température identiques à celles de l'anatexie commençante sont obtenues pour un gneiss syénitique à grenat, cordiérite et sillimanite de la région de Fort Dauphin (données analytiques de Noizet, 1969): $T = 665^{\circ}\text{C}$ avec le couple grenat-cordiérite et 710°C avec le couple grenat-biotite et $P = 5-5,5$ kbar.

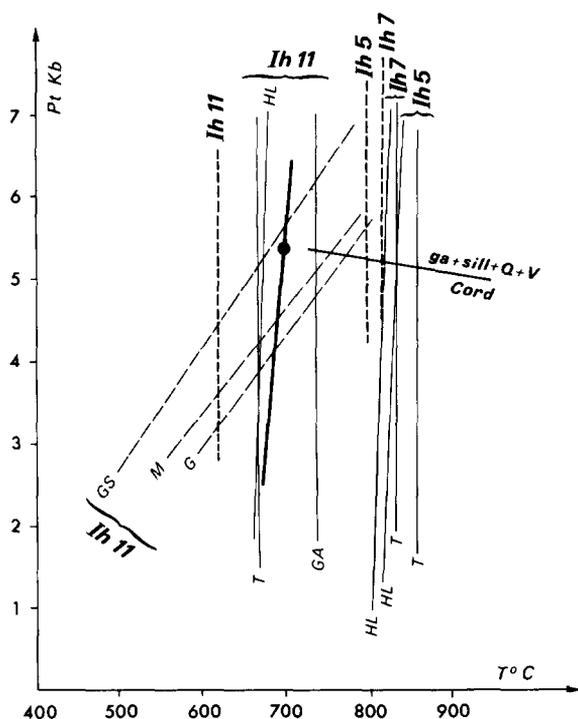


Fig. 2. Estimation P , T des assemblages minéralogiques des gneiss à cordiérite et grenat à partir des géothermomètres. Traits fins: couple grenat-biotite; tirets fins: couple grenat-plagioclase; tirets épais: couple cordiérite-grenat; ligne épaisse: assemblage à sept phases, point: position du gneiss rubané Ih 11 sur cette ligne; grenat + sillimanite + quartz + vapeur \rightleftharpoons cordiérite pour X_{Fe} cordiérite = 0,25 et $PH_2O = 0,4 P_T$ (Lee et Holdaway, 1977); voir Tableau III pour les références des données thermodynamiques. Fig. 2. P , T field for assemblages from cordierite and garnet gneisses using the geothermobarometers. Thin lines: garnet-biotite; thin dashed lines: garnet-plagioclase; heavy dashed lines: cordierite-garnet; heavy line and spot: univariant seven-phase assemblage and position of the banded gneiss Ih 11; garnet + sillimanite + quartz + vapor \rightleftharpoons cordierite with X_{Fe} cordierite = 0.25 and $PH_2O = 0.4 P_T$ (Lee and Holdaway, 1977). References on thermodynamic data are given in Table III.

CONCLUSIONS

Les gneiss rubanés de la formation d'Ihoso témoignent d'un épisode migmatitique produisant des leucosomes à quartz, feldspath potassique, plagioclase, \pm cordiérite, \pm grenat, \pm biotite, \pm sillimanite, des granodiorites à grenat et des résidus réfractaires hyperbiotitiques dépourvus de feldspath. On peut considérer qu'une certaine proportion de leptynites granitoïdes avec ou sans grenat et/ou cordiérite, abondantes dans le Sud malgache et parfois associées à des gneiss migmatitiques rubanés, seraient des liquides contemporains de cette migmatitisation. Les 'septas micaschisteux' dans ces leptynites (Noizet, 1969) et dans des granites (De la Roche, 1963) pourraient alors représenter les résidus réfractaires à la fusion.

De la Roche (1963), Noizet (1969), Besairie (1970), Bazot (1976) remarquent l'abondance des gneiss rubanés avec l'assemblage à sept minéraux dans l'ensemble de la séquence androyenne. Or, selon Lee et Holdaway (1977), les granulites à grenat et cordiérite présentant cet assemblage se sont formées dans un intervalle de pression et de température bien défini et relativement restreint: $T = 690\text{--}710^\circ\text{C}$ et $P_T = 4\text{--}5,7$ kbar avec $PH_2O = 0,2\text{--}0,5 P_T$. Ainsi les gneiss migmatitiques rubanés peuvent être considérés comme des marqueurs thermobarométriques très précis dans le Sud de Madagascar.

Les datations géochronologiques réalisées dans le sud-est de Madagascar (Vachette, 1977, 1979; Vachette et Hottin, 1977) montrent qu'un épisode métamorphique panafricain s'est surimposé à des événements vraisemblablement archéens: ce métamorphisme panafricain a provoqué la formation de migmatites et de granites. Les gneiss migmatitiques rubanés ne montrent pas d'évolution polymétamorphique et ont une grande extension régionale. Aussi, on peut raisonnablement envisager qu'ils soient contemporains de l'épisode anatectique panafricain plutôt que de les considérer comme les reliques d'un métamorphisme plus ancien. Ainsi, le métamorphisme panafricain aurait atteint, dans le sud de Madagascar, les conditions du faciès granulite comme dans le centre de l'île (Vachette, 1977) et comme dans d'autres portions de la ceinture mobile Mozambicaine en Afrique (Hepworth, 1972; Saggerson et Turner, 1972; Tanner, 1973; Coolen et al., 1982).

BIBLIOGRAPHIE

- Bariand, P., Cesbron, F. et Geffroy, J., 1977. Les minéraux, leurs gisements, leurs associations. Minéraux et fossiles, 3 vol.
- Bazot, G., 1976. Les formations précambriennes de Sud Est de Madagascar et leurs minéralisations. Thèse Clermont Ferrand.
- Besairie, H., 1967. The Precambrian of Madagascar. In: Rankama (Editor), The Precambrian, 3, Interscience Publ., London, pp. 133–142.
- Besairie, H., 1970. Description géologique du massif ancien de Madagascar. Le Sud. Doc. Bur. Géol. no. 177e, Tananarive, 163 pp.

- Besairie, H., 1973. La géologie globale et ses applications à l'océan indien et à Madagascar. Doc. Bur. Géol., no. 186, Tananarive, 30 pp.
- Besairie, H., 1974. Itinéraires géologiques de long des principales routes de Madagascar. Doc. Bur. Géol., no. 174, Tananarive, 164 pp.
- Boulangier, J., 1954. Etude géologique des formations cristallines de la région du Vohibory. Thèse Nancy.
- Chantraine, J., 1970. Géologie de la région Nord d'Ihoisy. C.R. Semaine Géol., Tananarive, pp. 63–68.
- Coolen, J.J., Priem, H.N., Verdurmen, E.A. et Verschure, R.H., 1982. Possible zircon U–Pb evidence for Pan-African granulite facies metamorphism in the Mozambique belt of Southern Tanzania. *Precambrian Res.*, 17: 31–40.
- De La Roche, H., 1963. Etude géologique de l'extrême Sud Est de Madagascar (zone d'intensité métamorphique élevée). *An. Géol. Mad.*, 28: 11–87.
- Ferry, J.M. et Spear, F.S., 1978. Experimental calibration of the partitioning of Fe and Mg between biotite and garnet. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 66: 113–117.
- Ghent, E.D., 1976. Plagioclase–garnet– Al_2SiO_5 –quartz: a potential geobarometer–geothermometer. *Am. Mineral.*, 61: 710–714.
- Ghent, E.D. et Stout, M.Z., 1981. Geobarometry and geothermometry of plagioclase–biotite–garnet–muscovite assemblages. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 76: 92–97.
- Goldman, D.S. et Albee, A.L., 1977. Correlation of Mg/Fe partitioning between garnet and biotite with $\text{O}^{18}/\text{O}^{16}$ partitioning between quartz and magnetite. *Am. J. Sci.*, 277: 750–761.
- Hepworth, J.V., 1972. Charnockitic granulites of african cratons. 24th Int. Geol. Congr. Montréal, I, pp. 126–134.
- Holdaway, M.J. et Lee, S.M., 1977. Fe–Mg cordierite stability in high grade pelitic rocks based on experimental, theoretical and natural observations. *Contrib. Miner. Petrol.*, 63: 175–198.
- Hottin, G., 1970. Géochronologie et stratigraphie malgaches: essai d'interprétation. Doc. Bur. Géol., No. 182, 21 pp.
- Lee, S.M. et Holdaway, M.J., 1977. Significance of Fe–Mg cordierite stability relations on temperature, pressure and water pressure in cordierite granulites. *Geophys. Monogr.*, 20, Am. Geophys. Union, Washington.
- Martignole, J., 1978. Calibrage d'un géothermo-baromètre à sillimanite–biotite–cordiérite–plagioclase–grenat. 6ème R.A.S.T. Orsay, p. 268.
- Noizet, G., 1969. Contribution à l'étude géochimique des formations métamorphiques du faciès granulite dans le Sud de Madagascar. Thèse Nancy.
- Razafiniparany, A., 1969. Les charnockites du socle précambrien de Madagascar. Thèse Clermont Ferrand.
- Saggerson, E.P. et Turner, L.M., 1972. Some evidence for the evolution of regional metamorphism in Africa. 24th Int. Geol. Congr. Montreal, I, pp. 153–161.
- Tanner, P.W., 1973. Orogenic cycles in East Africa. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 84: 2839–2850.
- Thompson, A.B., 1976. Mineral reactions in pelitic rocks: Calculation of some P – T – X (Fe–Mg) phase relations. *Am. J. Sci.*, 276: 425–454.
- Vachette, M., 1977. Géochronologie du précambrien malgache. *Bull. Acad. Malgache*, 55/1–2: 251–289.
- Vachette, M., 1979. Le précambrien de Madagascar. Radiochronologie par isochrones Rb/Sr sur roches totales. *Revue de Géologie dynamique et de Géographie physique*, 21: 331–338.
- Vachette, M. et Hottin, G., 1977. Ages au strontium ajusté par isochrones sur roches totales des formations du Sud de Madagascar. *Bull. Acad. Malgache*, 55/1–2: 291–299.
- Wells, P.R., 1979. Chemical and thermal evolution of Archean sialic crust, Southern West Greenland. *J. Petrol.*, 20: 187–226.