ÉTUDE PÉTROGRAPHIQUE ET STRATIGRAPHIQUE DE LA SÉRIE DE MILANOA

par

PIERRE BRENON

Laboratoire de Géologie et de Minéralogie de la Faculté des Sciences de Madagascar.

Résumé. — La Série de Milanoa comporte essentiellement des Amphibolites schisteuses fines, des épidotites, des gneiss « bleus » à biotite d'origine ortho associés à de vieilles roches intrusives basiques. Cette série repose en concordance sur la série de l'Ambalia d'origine paragneissique.

***

1. La série de Milanoa

En 1948 et en 1949, au cours du lever géologique des feuilles 1/200.000 Andravory et Sambava sur la côte Nord-Est de Madagascar, j'avais été amené à distinguer du reste du socle ancien une série remarquable par une pétrographie dénotant un métamorphisme modéré. Cette Série, que j'ai appelée « Série de Milanoa », du nom d'un Chef lieu de canton, tout proche, du District de Vohémar, est caractérisée par la prédominance de schistes cristallins à amphibole et épidote à grain fin ainsi que par la présence, très sporadique, d'une minéralisation cuprifère. Ces particularités ont déterminé H. Besairie à rattacher cette série au groupe de Vohibory dont le type se situe dans le sud-ouest de Madagascar.

On notera qu'en 1948 R. Dormois qui cartographiait alors les feuilles 1/200.000 Andavakoera et Vohémar situées immédiatement au nord, isolait lui aussi, une série de schistes cristallins de

métamorphisme modéré de nature pétrographique assez voisine mais à grain grossier : la série de Daraina.

La série de Milanoa, au sud et à l'est de cette localité, a été cartographiée pour la première fois au cours de mes levers de 1948-1949. Par suite de la présence de la minéralisation cuprifère des levers plus détaillés ont été exécutés pour le Service Géologique de Madagascar par H. de la Roche en 1954. J'ai de nouveau levé la région en 1956. Cette dernière campagne a fourni les éléments de la présente étude, jusqu'alors inédite, qui tient également compte d'un certain nombre d'études locales exécutées par le Bureau Minier de Madagascar en 1955-1956. Les levers ont utilisé un excellent 1/40.000 restitué par le Bureau Minier à partir des photographies aériennes du Service Géographique de Madagascar (1).

***

Coup d'œil géographique. — La région étudiée est située en quasi totalité dans le bassin de la Fanambana et de ses affluents parmi lesquels on peut citer — à gauche : la Sakatia, la Makira, la Sandramajo et surtout l'Antsahandrevo grossi de l'Anovankary ainsi que l'Anandroka et l'Andravory — à droite la Beamborika, l'Antsahampiambe et l'Antsahanjoany.

Au Nord le beau massif cristallin boisé du Bezavona (892 m) s'avance par les chaînons dénudés du Békirepika et de l'Andavakoera jusqu'à proximité de Milanoa et d'Ambodivoanio.

Au Sud de la Fanambana et de l'Antsahandrevo, les abrupts boisés du Tsiakaranatalata, de l'Anjanaharibe, de l'Ambatofotsy, de l'Antsahafotsy (893 m) et de l'Antete barrent complètement l'horizon au Sud-Est. Plus à l'Est, l'Ankitsika et l'Iresaka bordent la dépression de la Beamborika et la basse Fanambana.

A l'Ouest, du Sud au Nord le cône boisé de l'Antavobe puis le Tsifoana, l'Ambakoana, l'Andrangana et le Rangovato (646 m) rompent la monotonie des petites collines sur la moyenne Fanambana au Sud de l'Antsahandrevo. Au Nord de cette rivière, on peut citer dans la région occidentale la chaîne du Milanoa bordée à l'Est par les curieux rochers de Milanoa en forme de tête et au Sud de l'Anovankary, le Bekarosaka.

Les vallées sont en général étroites sauf celles qui appartiennent à de larges compartiments faillés et sont plus ou moins empatées par les alluvions (Basse Makira — basse Sandramajo — Bas Ano-

(1) La présente étude sera suivie d'un travail relatif à la tectonique et au métamorphisme de la série de Milanoa, travail qui comportera en outre : bibliographie, cartes, coupes, etc.

vankary — Basse Beamborika). La Fanambana à la vallée de largeur médiocre, traverse en force les beaux abrupts de l'Antsahafotsy et du Tsiakaranatalata avant de recevoir l'Antsahandrevo.

Dans son ensemble, la région est très montueuse en dépit de son altitude moyenne modérée (le confluent de l'Antsahandrevo est à quelque 60 m).

Milanoa est le seul centre important de la région avec Ambodivoanio, tous deux accessibles en voiture tout terrain à partir de la route côtière. Ambalia sur Beamborika — Antsohihy sur Fanambana — Ambodisakoa sur Fanambana ne sont que d'assez gros villages.

***

Les grands traits géologiques. — Nos travaux ont permis d'établir la succession stratigraphique suivante :

Sommet	6 = Gneiss fins à amphibole de l'Anjavibe et de la Bobakindro Gm^2a.
Série de Milanoa	5 = Amphibolites feldspathiques schisteuses fines souvent épidotiques constantes dans les couches de Milanoa A^sf.
	4 — Gneiss « bleus » à biotite fins de la basse Anandroka. $G^B_{m^2}$.
Série de l'Ambalia	3 — Gneiss à muscovite fins de l'Ambalia et de la Basse Sandramajo Gm^1.
	2 — Gneiss à deux micas fins peu continus de l'Ambalia Gm^1m^2.
Base	1 — Gneiss à biotite fins du Bekitro Gm^2 souvent leucocrates Glm^2 (Hte Beamborika).

A un niveau probablement moyen mais qui n'a pu être fixé avec précision par suite d'une granitisation importante et qui peut même atteindre le niveau des amphibolitas schisteuses fines, on trouve entre l'Antsoha et la Maikampango, au Sud-Ouest du Rangovato, des quartzites blancs ou bleu pâle, à hématite parfois abondante, souvent riches en disthène.

Cette succession est valable pour l'ensemble de la zone étudiée. Toutes ces roches ne renferment que de faibles quantités de microcline. Néanmoins sans interrrompre la continuité tectonique les trois couches inférieures principales formant la série de l'Ambalia

sont fortement granitisées en « taches d'huile » surtout au sein des zones anticlinales montagneuses (Antsahafotsy — Bezavona). Le grain de la roche augmente et arrive à des gneiss granitoïdes et même (Fanambana au Sud-Ouest d'Antsahampiambe) à de véritables granites. Les gneiss granitoïdes à biotite s'apparentent de très près aux gneiss de la Bemarivo que nous avons définis en 1952 (Brenon, thèse Nancy).

En plus de ces formations parfaitement stratifiées, on observe deux types de roches basiques anciennes ayant nettement subi l'empreinte du métamorphisme :

1° *des gabbros et des diorites à biotite parfois à olivine* — fréquemment ouralitisé à structure ophitique plus ou moins parfaite fréquente passant à des orthoamphibolites (Beamborika — Basse Makira — Anandroka — Basse Beambatry) ;

2° *des amphibolites grossières* noires, à grain parfois monstrueux, que j'avais déjà identifiées en 1948 qui apparaissent en masse dans des zones de discontinuité tectonique (Antsohihy) ou dans des zones de variation assez brusque des directions (Haute Ambatofotsy). Elles sont plus rares et moins développées dans les zones tranquilles (Flanc Sud-Est du Tsiakaranatalata). Elles apparaissent aussi bien dans les amphibolites schisteuses fines que dans les gabbros précédents (Beamborika). Ces roches ne sont autres que les Appinites des Anglais.

En plus de ces grands groupes formés, soit de roches paramétamorphiques, soit de roches éruptives basiques, on doit mentionner en bordure Nord-Ouest de la zone étutiée l'existence qu'un puissant complexe granodioritique qui s'étend surtout au Nord de la piste Milanoa-Anjavibe. Nous verrons plus loin quelle signification on peut lui attribuer.

Recoupant toutes ces formations variées, on ne connaît plus alors que des filons granitiques, leucocrates à muscovite particulièrement remarqués dans les vallées de la Makira et de l'Anovankary. Ces roches passent souvent à des pegmatites à muscovite (Antanimbaribe — Ambodimangamaro). Elles sont probablement responsables des nombreux filons de quartz démantelés qu'on observe çà et là (vallée de la Bekirepikabe, de la Bekirepikakely et de l'Ampotakaomby).

Beaucoup plus récents encore (cretacés) mais assez rares sont les filons de basalte et de dolérite dont on suit parfois les alignements sur plusieurs kilomètres (8 km entre le Rocher de Milanoa et l'Anjorijory). On les trouve évidemment dans toutes les formations précédentes (amphibolites fines de l'Anjorijory — Gneiss grani-

toïdes de la Basse Antsahanjoany). Ils semblent surtout localisés dans la partie occidentale de la région étudiée.

Les roches granitisées ou non de la série indiquée se groupent en unités tectoniques assez harmonieuses : synclinaux et anticlinaux fortement déversés vers l'Ouest ou le Nord-Ouest. En dépit de cette douceur relative, on constate néanmoins qu'on a bien affaire à une tectonique métamorphique profonde et serrée. Bien que nous étudions plus tard, en détail, les divers groupements structuraux, nous pouvons déjà insister sur la position synclinale des 3 unités les plus élevées de la séquence stratigraphique précédemment indiquée. L'ensemble de ces 3 formations supérieures forme la Série de Milanoa. Cette Série repose en concordance sur les séries plus profondes du socle cristallin (Série de l'Ambalia).

2. Pétrographie générale

Nous allons donner ici un bref aperçu pétrographique tel qu'il ressort de nos études de lames minces et aussi des analyses chimiques effectuées. Nous partons du sommet vers la base.

Gneiss fins à amphibole et biotite. — Ils sont assez disséminés mais ne forment de masses importantes que dans la vallée de l'Anjavibe et au voisinage de la boucle de l'Antsahandrevo à l'Ouest d'Ambodimanga.

Ce sont des roches assez fines, généralement claires fréquemment altérées, très feldspathiques à paillettes d'amphibole souvent abondantes. On y trouve au microscope : du quartz — un plagioclase (confins oligoclase-andésine) parfois du microcline — de la hornblende verte en baguette, montrant toujours un angle d'extinction élevé (27°) parfois un peu de biotite et des quantités variables, rarement nulles, d'épidote en granules ou en plagettes.

Leur origine est incertaine. Provisoirement, nous les grouperons néanmoins avec les roches suivantes.

Amphibolites schisteuses fines. — Ce sont les roches typiques de la Série de Milanoa. Elles sont compactes, dures, lorsqu'elles sont fraîches, gris bleu à bleuâtre tirant parfois sur le vert lorsque l'épidote y est assez abondante.

La hornblende y forme souvent des gerbes assez fines dans le plan de schistosité, gerbes parfaitement visibles à la loupe.

On y trouve un plagioclase fréquemment non mâclé, parfois légèrement séricitisé, assez basique (andésine en général — la-

brador plus rare) de la hornblende verte en écailles (polychroïque dans les tons vert assez pâle, extinction toujours assez forte supérieure à 25°, avec mâcle h^1 assez rare) et un peu de minerai (hématite) généralement disséminé et fin. Ceci est le type moyen. En général, on trouve en plus presque toujours un peu de quartz et un peu d'épidote ou de zoïzite. La biotite n'est pas rare et parfois assez abondante, c'est presque toujours une variété polychroïque dans les tons jaune très pâle à gris brunâtre. Il y en a normalement moins que de la honblende. Le sphène s'observe dans quelques cas seulement.

On trouvera à la fin de la pétrographie les analyses de 3 de ces roches.

L'échantillon R. 7460 montre ces amphibolites comme provenant de la recristallisation d'un gabbro ou d'une orthoamphibolite.

D'autres lames montrent également des structures granoblastiques fines à résidu évoquant une orthoamphibolite à biotite primitive (R. 7264 — Haute Manirinkiny).

Un autre échantillon (R. 7517) montre une structure doléritique avec ouralitisation et épidotisation.

Bien que les analyses donnent d'assez importantes teneurs en silice, il ne nous semble pas douteux que les amphibolites fines de la série de Milanoa proviennent de la transformation de roches éruptives basiques.

Avant d'en finir avec les amphibolites fines, signalons la trouvaille à 200 m à l'Ouest du Rocher de Milanoa d'éléments d'une sorte de comglomérat amphibolique. Il s'agit selon toute vraisemblance d'un simple phénomène de boudinage.

Epidotites. — Les amphibolites à épidote ou zoïzite passent aux épidotites fines, vertes ou bleu vert, dures, dans lesquelles on observe au microscope : plagioclase (andésine à labrador) plus ou moins abondant — hornblende vert pâle, analogue à celle des amphibolites non constante — épidote en plages, plagettes ou granules — quartz rarement absent mais peu abondant — accidentellement microcline. Un échantillon montre des résidus de pyroxène en voie d'épidotisation. Il s'agit d'augite. Là encore origine éruptive basique.

Gneiss « bleu » à biotite. — Nous avons isolé, cette année, ces roches fines d'un gris bleuâtre sombre en place, si faciles à confondre avec les amphibolites à biotite fines. Elles occupent d'importantes surfaces dans les vallées de l'Andravory et de la Fanambana. Elles sont étroitement associées avec les amphibolites et c'est leur position en bordure des synclinaux — pour les grosses masses tout au moins qui nous les fait placer en dessous.

On y trouve au microscope : quartz — microcline assez rare — plagioclase souvent non mâclé (oligoclase — andésine) — biotite (polychroïque dans les tons jaune pâle à vert bouteille sale) en nombreuses écailles fines — minerai (hématite) apatite accessoire fréquente dans le plagioclase, assez fréquemment hornblende verte et épidote ou zoïzite — rarement du sphène — parfois muscovite.

Ces gneiss bleus se reconnaissent souvent à leur aptitude à fournir parfois localement, parfois sur de grandes étendues des diadysites ainsi que des plis ptygmatiques (Anandroka). C'est un matériau infiniment plus plastique que les amphibolites.

Nous donnons plus loin une analyse de ces gneiss bleus due à P. Rose. Les gneiss bleus représentent soit un épisode éruptif moins basique (et plus ancien) soit un élément paramétamorphique assez riche en fer et en magnésie. Le microscope ne montre aucune structure résiduelle nette. Nous penchons en faveur de la première hypothèse.

Gneiss à muscovite. — Ils ne couvrent que de faibles surfaces mais ils forment dans certains secteurs un niveau repère très précieux. Ce sont des roches fines, gris pâle ou rose très clair avec paillettes de biotite plus ou moins abondantes.

Au microscope on y trouve : quartz, oligoclase, microcline accessoire ou peu abondant assez fréquent — muscovite généralement assez peu abondante — minerai rare ou absent. Un échantillon au Nord-Est du Rangovato a montré un peu de sillimanite.

Ce sont sûrement des formations paramétamorphiques vraisemblablement pélitiques.

Gneiss à deux micas. — Ce sont des roches de transition assez disséminées formant des niveaux peu constants dans les régions les plus élevées des gneiss à biotite. Grain toujours assez fin.

Un de ces gneiss à deux micas a fourni un peu de grenat rose (R. 7585 — quartz — rare orthose — oligoclase — rare muscovite — biotite — rare minerai) sur la rive droite de l'Antsahandrevo au Nord-Est — Est du Rangovato, en association avec des gneiss « bleus ».

De faibles quantités d'épidote ne sont pas très rares.

Gneiss à biotite. — Ils forment la grande majorité des gneiss fins de la Série de l'Ambalia. Ce sont des roches de teinte claire, modérément ou pauvrement pourvues en mica noir ce qui les distingue des gneiss « bleus ». Au microscope on y trouve : quartz — orthose ou microcline assez fréquent en quantités généralement modérées — plagioclase souvent non mâclé abondant (oligoclase —

andésine) — muscovite très peu abondante, accidentelle — biotite (brun clair à brun rouge) en quantité modérée minerai (hématite) toujours peu abondant. La hornblende est rare et accidentelle. L'épidote en granule n'est pas très rare mais toujours en faible quantité.

Gneiss leucocrates fins. — Ils dérivent des précédents par disparition totale de la biotite. On doit signaler certains gneiss hololeucocrates blancs fins à pyrite du flanc Nord du Rangovato, à l'aspect de quartzite montrant quartz — microcline assez abondant — oligoclase et pyrite. On retrouve des types voisins à l'Est de la chaîne de Milanoa.

Au point de vue répartition, ces facies limites forment rarement de grandes masses et on les retrouve en zones plus ou moins fugaces dans les 3 variétés précédentes de gneiss.

Quartzites. — Ils n'apparaissent pas dans les formations précédentes mais avec leurs homologues granitisés. Ils semblent rares dans la région et l'on ne peut guère citer que les quartzites plus ou moins démantelés formant une colline abrupte entre les vallées de l'Antsoha et de la Beambatry à 2 km au Sud-Ouest du Rangovato. Ils sont tous à grain fin et plus ou moins bien lités.

On y distingue des types blancs, plus ou moins saccharoïdes à hématite et pyrite, parfois à pyrite seule et surtout des variétés bleu pâle ou vert bleuâtre pâle à disthène et hématite. Au microscope on y trouve : quartz très largement prédominant — rare muscovite accidentelle disthène souvent mâclé abondant en fines lamelles — hématite fréquente — pyrite rare (dans les lames étudiées tout au moins).

Ces quartzites sont pincés dans des gneiss granitoïdes à biotites. On peut les rapprocher des quartzites à sillimanite que j'avais trouvés en 1948 au Sud d'Ambalasatrana dans la haute vallée de l'Antongnombato (Vers X = 1.366.000 — Y = 752.800) englobés dans les mêmes formations. La position de ces quartzites par rapports à la Série de Milanoa est peu précise mais vraisemblablement voisine et légèrement inférieure, en effet des amphibolites schisteuses et des épidotites de cette série se montrent dans une zone synclinale peu au Nord-Ouest des quartzites à disthène.

Amphibolites grenues grossières. — En 1948, j'avais déjà identifié sous le terme d'Amphibolites à amphiboles géantes des roches amphiboliques à grain parfois monstrueux (amphibole de plusieurs centimètres de long) rencontrées en divers points du socle cristallin de la feuille d'Andravory. Ces roches noires, souvent peu

feldspathiques à l'œil, présentent généralement soit une cassure grenue grossière homogène, soit une cassure d'aspect pustuleux où les amphiboles subautomorphes émergent d'un « ciment » feldspathique beaucoup plus fin. Elles sont fréquemment recoupées localement de filonnets quartzo-feldspatiques suivant au moins 2 directions quasi rectangulaires. Ce sont les appinites des anglo-saxons.

La grande majorité des formations montre au microscope : plagioclase parfois séricitisé, souvent épidotisé, toujours assez basique (andésine basique à bytownite, le plus souvent labrador) de la hornblende verte (souvent vert pâle ou bleu vert pâle à extinction généralement grande) et des quantités variables généralement faibles ou modérées de minerai. En plus on trouve accessoirement un peu de quartz, du microcline peu abondant, nettement accidentel.

L'épidote et la zoïzite sont fréquentes. Le sphène est rare mais non systématiquement absent.

Le fait intéressant mis en évidence en 1954 par H. de la Roche réside dans la nature vraisemblablement très sodique (catophorite) des amphibolites de la Série de Milanoa et aussi des amphibolites grossières. Toutefois l'origine exacte de ces roches restait à déterminer. L'étude de nos lames minces a montré dans de nombreuses amphibolites grossières des résidus de pyroxène du type augite incolore ou à peine jaune à section octogonale fréquente et des restes de structure ophitique établissant sans ambiguïté l'origine dioritique ou gabbroïque de ces roches. Une roche a montré de la bronzite, malgré une ouralitisation très poussée.

Une autre a montré une amphibole monoclinique du type hornblende plus ou moins sodique (Edenite —) transformée par métamorphisme rétrograde en anthophyllite orthorhombique avec association de la cordiérite. Ceci permet de fixer avec précision dans la suite des facies métamorphiques d'Eskola-Ramberg l'intensité minima du métamorphisme rétrograde atteint par la Série de Milanoa dans les formations actuellement observables. Cette roche montre en plus des alignements fins de minerais dans l'édénité, souvenir probable du diallage ou de l'hypersthène originelle.

Nous donnons 4 analyses de ces amphibolites grossières.

Diorites gabbros et orthoamphibolites. — Nous traitons ici des roches qui ne rentrent pas dans la catégorie précédente. Leur degré de transformation métamorphique rétrograde est moins poussé, parfois même très faible, voire même nul. Ces diorites et ces gabbros sont des variétés à grain moyen, d'aspect gris bleuâtre à noir bleuâtre, passant plus ou moins rapidement à des orthoamphibolites d'aspect extérieur voisin, à schistosité souvent marquée et grain un peu plus fin.

Les gabbros à olivine ont été reconnus dans le bassin de la Beamborika soit frais (Brenon, R. 7455 — avec labrador — biotite brun rouge — diallage — olivine — minerai dans la biotite) soit altéré (de la Roche, D. 1172 avec labrador — biotite — augite — olivine altérée en trémolite — minerai). Dans certains cas peu fréquents, l'olivine est remplacée par de la serpentiqe. Ils paraissent nettement subordonnés au milieu des types moyens franchement ophitiques à labrador souvent trouble — biotite — augite ou diallage abondant — hornblende verte d'ouralisation plus ou moins abondante — minerai plus ou moins abondant inclus dans la biotite. Structure ophitique plus ou moins large, souvent très nette, même après ouralisation totale du pyroxène intersticiel. Les formes à hypersthène,sans être absentes, semblent assez rares (R. 7195).

L'épidote granulaire est rare et peu abondante (R. 7452). Il en est de même des variétés à sphène ainsi que des formes à grenat (de la Roche D. 1073 — Rive gauche Antsahandrevo en amont d'Ambodimanga).

Comme dans le cas des amphibolites grenues, la hornblende d'ouralitisation appartient au groupe sodique des catophorites caractérisé par un angle d'extinction important (de la Roche, 1954).

Les transformations rétromorphiques atteignent aussi bien les vieux filons doléritiques (Matsaborivaky) que les roches formant de puissants massifs (Beamborika-Makira) mais ceux-ci fournissent les roches les moins atteintes par la diaphtorèse. Nous donnons plus loin une analyse P. Rose relative à une diorite des rizières d'Anjavibe sur la basse Makira.

La présence de ces gabbros relativement frais, à structure ophitique presque toujours distincte, malgré d'indéniables débuts de diaphtorèse montre que dans certains secteurs le réajustement métamorphique n'a pu s'opérer complètement.

Si l'on rapproche ce fait de l'ouratilisation complète avec forte épidotisation des amphibolites grenues, on peut hasarder l'hypothèse d'une formation assez tardive des gabbros par rapport à ces dernières.

Chloritoschiste-Tremolite. — Dans les gneiss à amphibole de l'Anjavibe (niveau supérieur de la Série de Milanoa), H. de la Roche et F. Dijoux ont relevé au Nord d'Androtra la présence d'un banc mince mais continu de roche schisteuse vert pâle à vert sombre. La direction et le pendage concordent avec celui de la roche encaissante. Cette roche montre de la trémolite ou de l'actinote largement prédominante associée à de la chlorite avec un peu de talc — minerai rare ou absent.

Des affleurement très limités ont été observés par H. de la Roche sur la rive droite de l'Antsahandrevo peu en aval de l'Ampasira — au Sud-Ouest d'Ambodimanga — Androtra et au Sud-Est toujours sur la même rive de la rivière — dans la basse vallée de l'Ankatafana.

Ces chloritoschistes, peu développés, font partie intégrante de la série de Milanoa telle que nous l'avons définie.

Soapstones. — Au voisinage des amphibolites grenues grossières H. de la Roche a observé et étudié pour la première fois en de nombreux points des soapstones grenus, verdâtres ou gris verdâtre pâle, plus ou moins grossiers.

On y trouve de grands cristaux de trémolite ou d'actinote fréquemment associés à de grandes plages de pargasite incolore à grande extinction (30°) fréquemment altérée par une poussière de minerais opaques et par des transformations en chlorite ou talc. Quelques échantillons montrent de l'anthophyllite en longue baguette. Le talc et la chlorite (parfois pennine) sont fréquents. On peut noter la présence de zoïzite. Nous-même avons recueilli à 2 km 800 au Nord-Est de Milanoa une amphibolite grenue à édenite, anthophyllite, cordiérite et phlogopite qui représente certainement une phase intermédiaire entre l'amphibolite grenue et le soapstone non encore réalisé (R. 7571 — voir le paragraphe relatif aux amphibolites grenues grossières).

Dans la région que nous avons levée, chaque fois que nous avons trouvé des soapstones, ils se trouvaient sur un substratum formé par des amphibolites grenues grossières. Nous pouvons fournir en effet les exemples suivants : Nord immédiat de la route de Milanoa-Vohémar à 2.800 m et à 1.000 m de Milanoa — au parc à bœuf de Milanoa — entre la vallée de l'Ambodibonara et celle de la Betamotamo — à l'Est de la Fanambana au Sud d'Antsohihy. On remarquera que la composition des amphibolites grossières n'est pas toujours favorable quant à la teneur en magnésium. Dans un cas où la roche dérive indubitablement d'une vieille norite (R. 7298), on dispose d'une roche fournissant environ 12 % de magnésie au départ. La formation de ces soasptones exige des conditions particulières du métamorphisme rétrograde générateur, condition qui exigent une métasomatose importante (H. de la Roche 1954).

Gneiss granitoïdes à biotite et granites orientés. — Ce sont des roches à grain moyen ou grossier blanches et noires formant « tache d'huile » dans les gneiss leucocrates fins à biotite ou à deux micas et dans quelques cas dans les gneiss à miscovite. Ils sont les équivalents des gneiss de la Bemarivo que j'avais définis en 1952 (P. Brenon, thèse 1952).

Au microscope on y trouve : quartz — microcline plus ou moins abondant — plagioclase (oligoclase en général — parfois andésine) — biotite plus ou moins abondante presque constante — hornblende vert pâle fréquente mais en quantité modérée — sphène assez sporadique — apatite accessoire fréquente — minerai rare ou absent. On doit noter en plus dans quelques cas un peu d'épidote granulaire dans des roches à andésine.

Les lames minces et la répartition des affleurements montrent sans aucun doute que ces roches dérivent par granitisation des gneiss leucocrates situés sous la Série de Milanoa. Ces roches sont fréquentes dans les zones d'élevation des axes anticlinaux (Tsiakaranatalata — Ambatofotsy — Antsahafotsy — Bezavona).

Granodiorites. — Elles sont uniquement développées dans la région Nord-Ouest du secteur étudié. Elles renferment des gneiss granitoïdes à biotite. Ce sont des roches blanc bleuâtre, piquetées de noir, à grain moyen, jamais fines, rarement très grossières. La roche type peut être prise au radier de l'Ampandilo sur la piste Milanoa-Anjavibe sur Antsahandrevo (R. 7508).

Au microscope on repère dans ces formations : quartz xénomorphe — microcline plus ou moins abondant, nettement insinuant — plagioclase appartenant à 2 types : un type granoblastique petit généralement subordonné parfois absent et un type subautomorphe gros à extinction radiale flouc provenant probablement d'un léger zonage, souvent non mâclés, souvent séricitisé et épidotisé, mais non constants, (la basicité de ces plagioclases va de l'andésine au labrador qui paraît le plus répandu) — bourgeons assez fréquents, mais non constants, de myrmékite — biotite quasi constante — hornblende verte souvent mâclée montrant des traces de zoning provenant vraisemblablement d'un pyroxène original (hornblende toujours vert pâle à assez grande extinction — 25°) — assez rarement diallage (voisinage de la roche de Milanoa) — sphène granulaire, englobant fréquemment du minerai, quasi constant — épidote et zoïzite en granules ou plagettes dans le plagioclase ainsi que dans les ferromagnésiens.

Ces caractéristiques font de ces roches des diorites ou des gabbros délicatement granitisés. Au point de vue microscopique, ces roches ne diffèrent des amphibolites de Milanoa à la granitisation près que par la finesse du grain et la présence constante du sphène.

H. de la Roche y voit des couches de Milanoa granitisées. Ces roches passent facilement aux gneiss granitoïdes à biotite sans limite bien précise. Les enclaves de la série de Milanoa (amphibolite et épidotite) y sont fréquentes mais minces (quelques dm parfois).

Filons de granites a muscovite et pegmatites associées. — En divers point de la région au Sud Est de Milanoa, on trouve des filons de granites leucocrates à muscovite ou de simples filons quartzo-feldspathiques passant à des pegmatites à muscovite elles-mêmes prolongées par des filons de quartz : moyenne Makira (Région Nord-Ouest d'Ambodimangamaro) Tsarahatsaka — bas Anovankary (Bekirepikabe-Bekirepikakely — vallée de la Milanoa) — Antsahandrevo (Basse Ampandilo — Région Nord de Rangovato) — haute Anjialava (Région d'Antanimbaribe). Ces formations présentent parfois des phénomènes de cristallisation périodique fins simulant des gneiss à muscovite (Colline d'Antanimbaribe R. 7644 avec au microscope quartz abondant — microcline abondant — rare plagioclase-muscovite — structure grenue). Ce sont des formations tardives, essentiellement liées à une tectonique cassante d'âge ancien située d'après nous presqu'à la fin du dernier cycle orogénique.

Filons de dolérites et de basaltes crétacés. — En divers points des filons frais de basalte et de dolérite se montrent en liaison avec la tectonique cassante. Ces roches sont d'âges vraisemblablement crétacé et montrent en général une structure doléritique plus ou moins parfaitement réalisée. On peut citer les dolérites de l'Antsahampiambe, du ruisseau Belambo (au Nord-Ouest d'Ambinanindravory), de l'Andrangana les basaltes subdoléritique de la région Sud de Matsaborivaky, le basalte fin de l'Antsahandrakanjo (flanc Sud-Est du Tsiakaranatalata) et du bassin de la Milanoa.

Certains filons basiques récents plus ou moins continus se suivent parfois sur plus de 8 km (Rocher de Milanoa — Anjorijory). Ces filons ne doivent pas être confondus avec les *sills ophitiques anciens* comme ceux de Matsaborivaky qui participent, eux, à la tectonique *souple ancienne* de tout le socle et présentent des traces nettes de diaphtorèse.

Latérite-Alluvions. — La latérite se trouve à peu près partout, surtout dans les zones à pente faible, suffisamment épaisse (2 à 5 m environ) pour masquer la tectonique sur les photographies aériennes. Dans les régions faillées, les zones alluviales récentes se développent avec assez d'ampleur (Makira-Beamborika).

TABLEAU I. — ANALYSES DE ROCHES DE LA SÉRIE DE MILANOA

Nature	Amphibolites achisteuses fines			Gneiss « bleus »	Amphibolites grenues grossières (Appinites)				Gabbro	Soapstone
Nos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 (1)
Indicatif	R. 7402	R. 7460	A. Lacroix	R. 7273	R. 7380	R. 7381	R. 7298	R. 7571	R. 7239	D. 977
SiO^2	55,9	56,4	43,34	60,15	43,5	49,1	49,30	45,89	49,60	45,15
Al^2O^3	16,8	19,6	17,66	16,78	22,0	18,0	10,10	18,45	21,26	6,10
F^2O^3	5,9	3,7	6,40	3,45	5,3	4,1	1,10	6,69	2,13	6,70
FeO	3,6	2,9	6,27	2,30	9,7	6,7	8,10	4,13	6,80	5,90
MnO	0,6	0,2	0,14	0,13	0,2	0,2	0,12	0,12	0,22	0,15
MgO	2,5	2,6	4,90	4,28	1,3	4,2	11,90	12,80	4,45	22,60
CaO	10,6	5,9	15,28	4,15	10,5	10,5	14,40	6,58	7,62	5,80
Na^2O	1,2	4,4	2,53	5,31	2,9	2,7	0,65	1,63	4,60	0,15
K^2O	0,5	1,4	0,76	1,56	0,8	0,8	1,10	0,70	0,31	0,05
TiO^2	1,1	1,0	1,80	0,95	1,4	1,2	1,00	0,60	1,12	0,70
P^2O^5	0,6	0,8	0,35	0,05	0,6	0,6	0,08	0,22	0,60	0,10
H^2O +	1,0	0,6	0,44	0,86	1,6	1,2	1,45	1,73	0,90	6,00
H^2O —		0,1	0,17	0,09			0,30	0,12	0,10	0,10
Total	100,2	99,6	100,04	100,06	99,8	99,3	99,68	99,66	99,81	99,86

(1) En plus Cr^2O^3 = 0,21 et NiO = 0,15 compris dans le total.
Toutes les roches d'indicatif R ont été recueillies par P. Brenon en 1956. Le Soapstone D. 977 est de H. de la Roche.
Toutes les analyses, sauf 3, sont dues à P. ROSE.

Commentaire pétrographique des roches analysées. — Nous donnons ci-joint quelques indications pétrographiques et autres sur les roches analysées.

Analyse 1 — *R.* 7402 — *P. Brenon.* — *Amphibolite schisteuse fine.* Haute Betamotamo (Bassin de l'Androtra). Au microscope : un peu de quartz — labrador abondant — hornblende verte — rares granules d'épidote — rare minerai — Structure granoblastique fine. Paramètres de Lacroix II'.4.4(5).4. [3.1.2.3.] correspondant à une diorite quartzique ou à une dacite.

Analyse 2 — *R.* 7460 — *P. Brenon.* — *Amphibolite schisteuse fine.* Vallée de l'Ambalia (1500 m au Sud d'Ambalia — Dépression de la Beamborika). Au microscope : plagioclase petit, granoblastique souvent non mâclé — rares gros plagioclase zonés cassés — très rares petites écailles de biotite — hornblende verte en petites plages (grandes extinctions — 25° au moins) — rare minerai en granules. Structure cataclastique fins à résidus. Paramètres 'II.4(5).3.4'[3.1.1.(2)3] correspondant à une diorite quartzifère ou à une dacite.

Analyse 3 — *A. Lacroix.* — Gisement d'Androtra-Matsaborivaky — *Amphibolite à épidote* — Analyse inédite citée par H. Besairie (Analyse n° 13 — *Bull. Ac. Malg.* n° du cinquantenaire). Cette roche de paramètre III.5(6).4.4' a été considérée par A. Lacroix comme d'origine paramétamorphique. Les paramètres correspondent pourtant à des gabbros luscladitiques et plus précisément à certains facies lamprophyriques du groupe des théralites (Heptorites).

Analyse 4 — *R.* 7273 — *P. Brenon.* — *Gneiss « bleu »*. Passage de la Sandramajo au Nord d'Antanandava. Au microscope : quartz — microcline plagioclase non mâclé — muscovite — biotite minerai (Hématite). Structure granoblastique fine — Paramètres II.4(5).2(3).4'.[2(3).1'.2] correspondant à une diorite quartzifère ou à une dacite.

Analyse 5 — *R.* 7380 — *P. Brenon.* — *Amphibolite grossière* (*Appinite*) orientée du massif d'Antsohihy sur Fanambana. Au microscope : labrador subautomorphe — augite résiduelle non rare — hornblende bleu vert pâle abondante — minerai peu abondant. Structure grenue à granoblastique large. Paramètres II.5.4.4'['3.4.1'.4] correspondant à une diorite néphélinifère (passage aux essexites) ou à une andésite tephritique.

Analyse 6—*R*.7381—*P. Brenon.* — Amphibolite grenue grossière du massif d'Antsohiny sur Fanambana. Au microscope labrador — hornblende bleu vert pâle abondante — augite résiduelle assez rare — rare minerai. Structure granoblastique large. Paramètres : II.5.4.4'. [2.1.2.3] correspondant à une diorite quartzifère.

Analyse 7—*R*.7298—*P. Brenon.* — Amphibolite grenue grossière en galets dans l'Ambatojoby (Haute Antsahampiambe — Revers Nord du massif de l'Ambatofctsy). Au microscope : labrador parfois séricitisé-bronzite très légèrement polychroïque abondante — hornblende gris vert pâle. Structure grenue peu imbriquée. Paramètre (III) IV.5.4.3. [1.(1)2.2.2.] correspondant à un gabbro mésocrate presque mélanocrate.

Analyse 8—*R*.7571—*P. Brenon.* — Roche d'un petit massif à l'Ouest de la route de Milanoa. — Vohémar à 2.800 m. au Nord-Est de Milanoa. Au microscope : cordiérite mâclée interstitielle avec belles auréoles de zircon — phlogopite peu abondante-édénite vert très pâle abondante — anthophyllite abondante en longues baguettes larges et aiguës. Paramètres III.5.4.4. [2.1.1.(1)2] correspondant à un gabbro *sensustricto.*

Analyse 9—*R*.7239—*P. Brenon.* — Gabbro des rizières d'Anjavibe — au microscope : labrador en grandes plages troubles — biotite brun rouge rare — diallage rose pâle abondant mâclé — rare hornblende verte d'ouralitisation — minerai abondant. Paramètre II.5.(3)4.5.[4.(3)4.1.3.] correspondant à une diorite.

Analyse 10—*D*.977—*H. de la Roche.* — Soapstone du parc à bœuf de Milanoa (sortie Sud-Ouest de Milanoa). Roche verdâtre à grands éléments. Au microscope : hornblende vert pâle en grandes plages — Trémolite plus ou moins chloritisée dominante — chlorite abondante. Talc commun Zoïzite rare — pyroxène résiduel avec minerai abondant. Paramètres. IV'5.5.4.[(1)2.1.1.(1)2.] correspondant à un gabbro très mélanocrate (pyroxénolite).

Le problème des roches originelles. — A la lumière des résultats d'études des lames minces et des analyses chimiques, nous pouvons maintenant aborder cette question.

L'absence d'analyses et de lames montrant des reliques pour les gneiss fins à amphibole et biotite de la Série de Milanoa ne nous permet pas de conjectures précises pour ces roches formant la

partie supérieure de la Série. On ne peut que provisoirement les laisser de côté en notant simplement leur existence.

Les amphibolites schisteuses fines et les épidotites associées montrent en lame mince de fréquents résidus de roches éruptives basiques. Les 3 analyses (analyses 1-2-3) en font dans deux cas des diorites quartziques ou des dacites quartziques et dans un cas gabbro luscladitique. Ces résultats établissent à notre sens d'une façon suffisante l'origine ortho de ces couches en dépit de leur grain fin et de leur répartition en couches d'épaisseur importante et assez constante.

Les gneiss « bleus » ne fournissent pas de reliques mais leur composition chimique (analyse 4) qui en fait des diorites quartzifères, leur interstratification fréquente avec les amphibolites schisteuses fines (ils ne s'individualisent en masse que dans le synclinal de l'Anandroka) nous fait pencher en faveur d'une origine ortho très probable.

Les gneiss à muscovite, à deux micas et les gneiss à biotite sous-jacents ne peuvent que se référer à une série paramétamorphique pélitique d'assez grande épaisseur (Sud de l'Ambalia).

Les amphibolites grenues grossières (analyses 5-6-7-8) ont des compositions virtuelles de diorite quartzifère (appinites), de diorite quartzique, de gabbros presque mélanocrates ou de gabbros normaux. Ici l'origine ortho est absolument certaine car outre ces résultats d'analyse, les lames minces fournissent des vestiges de structures et de composition gabbro-dioritiques. Une métasomatose non négligeable (hornblende sodique) a rendu postérieurement à leurs formations ces roches plus alcalines qu'à l'origine.

Les diorites et les gabbros de la basse Makira et de la Beamborika (analyse 9) ont eux aussi une origine indiscutable. H. de la Roche a néanmoins montré qu'ils ont subi une métasomatose sodique importante.

Les soapstones, provenant des amphibolites grenues grossières, ont, eux aussi, une origine ortho modifiée par des phénomènes métasomatiques particuliers également étudiés par H. de la Roche.

On voit donc que dans le complexe de Milanoa domine un ensemble éruptif basique parfois très fortement modifié par le métamorphisme (Amphibolites feldspathiques fines) ou par des processus métasomatiques (Amphibolites grenues grossières et gabbros plus ou moins ouralitisés de la Makira et de la Beamborika).

3. Stratigraphie

Nous avons déjà indiqué dans le coup d'œil géologique les séquences admises. Nous nous bornons à dresser ici un tableau précis qui donne les âges relatifs d'après les observations de terrain et les données de la pétrographie.

On remarquera que deux formations du complexe de Milanoa sont indiquées comme d'origine incertaine : ce sont les gneiss à amphibole et les gneiss « bleus ». Aucun argument décisif pour une origine certaine ne peut, pour l'instant du moins, être mis en avant pour les premiers. Les gneiss bleus relativement basiques sont très probablement ortho. D'après la seule analyse que nous en possédons ils sont assez riches en magnésie autant que les amphibolites schisteuses. Toutefois aucune lame mince n'a montré de reliques.

Nous devons attirer ici l'attention sur le fait que notre tableau donne les successions par âge croissant et admet que les gneiss granitoïdes, ainsi d'ailleurs que les granodiorites, sont des unités pétrographiques *ultérieurement nées par granitisation*. Celle-ci est montée plus ou moins haut dans la série paramétamorphique (front de granitisation) et une grande partie de la Série de Milanoa semble y avoir été rebelle. Mais le lecteur fera bien attention de considérer que comme la granitisation a été plus intense au sein des anticlinaux ramenant dans les régions d'élévation d'axe les couches les plus anciennes en surface, *les zones granitisées sont sous la Série de Milanoa*, alors que la granitisation est, au sens de H. de la Roche, comme au nôtre d'ailleurs, postérieure à la série de Milanoa. Les granodiorites ne peuvent, pour des raisons pétrographiques, être en effet originellement que, soit une série basique immédiatement antérieure à la Série de Milanoa, soit la Série de Milanoa, elle même mais granitisée. Cette dernière hypothèse est la plus simple et c'est celle que nous adoptons jusqu'à preuve du contraire. Elle explique aisément les nombreux résidus de série de Milanoa dans les granodiorites (Tableau II, p. suiv.).

Puissances. — Au point de vue des épaisseurs, les coupes fournissent les renseignements suivants :

Gneiss à amphibole. — Horizon résiduel peu constant, atteignant environ 150 m dans le synclinal de la Bobakindro. C'est un minimum et l'érosion ne nous permet pas d'escompter l'évaluation d'une épaisseur plus précise.

TABLEAU II

STRATIGRAPHIE DE LA RÉGION DE MILANOA

Formations récentes		Alluvions			
		Latérites argileuses			
		Filons de dolérites et de basaltes (Crétacé supérieur probable).			
		Filons de granite et de pegmatite à muscovite — Filons de Quartz.			
PRECAMBRIEN	Complexe de Milanoa — Granitisation	Granodiorites orientées à hornblende et à sphène.			Gneiss granitoïde et granites orientés à biotite.
	Complexe de Milanoa — Série de Milanoa	Gneiss à amphibole de l'Anjavibe (ortho).			
		Amphibolites fines et Epidotites(ortho). Gneiss « bleus » à biotite (ortho) ?	Soapstones	Gabbros ortho amphibolites de la Makira et de la Beamborika	
	Socle ancien — Série de l'Ambalia	Série basique de Milanoa à dominante ortho			Gneiss à muscovite. Gneiss à deux micas. Gneiss à biotite. Série de l'Ambalia (Substratum paragneissique).

Amphibolites et Epidotites. — Horizon essentiel de la Série de Milanoa. La zone Sud du synclinal peu déversé de la Sandramajo ainsi que la région orientale et septentrionale du synclinal de la Makira fournissent des chiffres de l'ordre de 1.000 à 1.200 m très proche du maximum possible, voisin de 1.500 m, compatible avec une bonne continuité de la tectonique souple. Les zones occidentale des synclinoria, très déversés vers l'Ouest ne donnent que peu d'indication à cet égard.

Gneiss « bleus » à biotite. — Cet horizon est généralement sporadique fugace, dans les synclinoria de la zone N. Il ne prend d'importance réelle, au point de constituer un véritable ensemble, que dans le bas-Anandroka où il forme un synclinal transverse et il s'étend vraisemblablement vers le Sud de la basse-Andravory, mais l'étude de ces formations n'a pu malheureusement faire l'objet que d'observations très incomplètes. Néanmoins, le synclinal de l'Anandroka donne des chiffres variant de 600 à 800 m (coupes 6 et 7) soit 700 m en moyenne.

Gneiss à muscovite. — Cette formation qui paraît assez inconstante ne paraît pas dépasser, dans les cas où son épaisseur peut être évaluée avec une précision suffisante (flanc Ouest du Synclinal de la Makira, coupe 2), 150 m.

Gneiss à 2 micas et gneiss à biotite. — Ces 2 formations n'ont pu être différenciées sur la carte géologique. Elles apparaissent dans des zones plissées très (Synclinorium de la Sakatia) souvent laminées (Anticlinal du Rangovato) presque toujours déversées (Anticlinal du Tsiakaranatalata). Leur étude précise en tant qu'unité stratigraphique sortait du cadre de notre lever et elles n'ont pu être observées avec une finesse suffisante que dans l'anticlinorium de la Sakatia. La base de la Série est inconnue. L'épaisseur minimum atteint 1.000 m à l'anticlinal de l'Ambalia (coupe 1) 1.400 m à celui du Tsiakaranatalata (coupe 4), 1.500 à 1.800 m dans la région de la Sakatia.

Quartzites. — Les quartzites de la Beambatry paraissent atteindre une puissance, toute locale, de 300 m au maximum et de 150 m en moyenne.

Gneiss granitoïdes. — Les épaisseurs sont celles des gneiss à biotite.

Granodiorites. — D'après l'hypothèse faite, ces roches auraient la puissance des amphibolites et des épidotites de la Série de Milanoa.

Les coupes sont muettes à cet égard. Une étude soignée du complexe granodioritique et de tout son contour résoudrait probablement la question. Les coupes montrent donc que la Série de Milanoa comporte une puissante succession.

Série de Milanoa	150 m Gneiss à amphibole (non constants — érosion) 1.500 m Amphibolites + Epidotites (constants). 700 m Gneiss « bleu » à biotite (non constants) (passage aux amphibolites).
Série de l'Ambalia	150 m Gneiss à muscovite. 1.500 m Gneiss à biotite et gneiss à deux micas.

La Série de Milanoa présente donc une épaisseur minimum d'environ 1.600 m (Somme des 2 termes supérieurs) reposant sur un substratum paragneissique plus ou moins granitisé, au moins aussi épais (dont la base est inconnue), et qui forme la série de l'Ambalia.