

GÉOPHYSIQUE

15

**Le paléomagnétisme  
des principales formations volcaniques crétacées  
de Madagascar**

*R. ANDRIAMIRADO*

ORSTOM – PARIS – 1976

.....  
« La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les «copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective» et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, «toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite» (alinéa 1er de l'article 40).

« Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code Pénal».

.....

## *SOMMAIRE*

Résumé .....	5
I — Introduction .....	7
II — Généralités sur Madagascar .....	7
III — Étude paléomagnétique .....	9
1. Répartition des formations étudiées .....	9
2. Études en laboratoire .....	9
IV — Résultats expérimentaux .....	11
1. Le paléomagnétisme des filons doléritiques de la côte centre Nord-Est .....	11
2. Le paléomagnétisme des coulées volcaniques de la côte Sud-Est .....	13
3. Le paléomagnétisme du massif volcanique de l'Androy .....	17
4. Le paléomagnétisme du groupe volcanique du Mangoky-Onilahy .....	17
5. Le paléomagnétisme du plateau basaltique du Mailaka .....	20
6. Le paléomagnétisme du plateau basaltique de l'Antanimena .....	22
V — Discussion .....	24
1. Directions d'aimantation .....	24
2. Pôles virtuels .....	26
VI — Signification paléomagnétique des résultats .....	27
1. Comparaison avec l'Afrique .....	27
2. Comparaison avec l'Inde .....	29
3. Comparaison avec l'Australie .....	29
4. Comparaison avec l'Antarctique .....	30
5. Essai de corrélation géographique entre les pays du pourtour de l'Océan Indien .....	30
VII — Conclusion .....	31
Bibliographie .....	33

## Résumé

*L'aimantation rémanente de plusieurs formations de roches volcaniques malgaches a été mesurée et analysée. Des renseignements stratigraphiques précis et des datations radiochronologiques par la méthode du potassium-argon permettent de situer les formations considérées entre 70 et 90 MA. Les résultats indiquent tous une aimantation normale et suggèrent que la position géographique de Madagascar aurait été différente de l'actuelle. Ils fournissent également une indication en faveur d'une dérive de la Grande Ile, vers le Nord par rapport au continent africain et semblent montrer que Madagascar et l'Inde se trouvaient au Crétacé supérieur, dans une même bande de latitude avec leurs côtes en regard parallèles. Les résultats conduisent enfin à envisager l'existence d'un déplacement de Madagascar par rapport à l'Australie et l'Antarctique. Une reconstitution géographique des pays encadrant l'Océan Indien pendant une partie du Crétacé supérieur est proposée.*

## Abstract

### PALEOMAGNETIC RESULTS FROM THE PRINCIPAL CRETACEOUS VOLCANIC FORMATIONS OF MADAGASCAR

---

*430 oriented samples were collected at several volcanic formations of Madagascar. Radiometric datations combined with stratigraphic evidence show that these formations are in the range 70 to 90 MA.*

*Alternating-field demagnetization was carried out to isolate the stable components of magnetization. The pole position of each formation was calculated.*

*A comparison of the results with data from the other continents of the oriental part of Gondwanaland was attempted. It suggests :*

- a. a northward drift of Madagascar with respect to Africa ;*
- b. the possibility that Madagascar and India were in the same range of latitude about the upper cretaceous time ;*
- c. a relative movement between Madagascar and Australia and Antarctica.*

## I – INTRODUCTION

L'hypothèse de la dérive des continents récemment renforcée par la découverte de l'expansion des fonds océaniques (DIETZ, 1961) a été largement utilisée pour reconstituer le ou les grands continents primitifs (CREER, 1964, 1965). De nombreux travaux ont été en particulier consacrés à la dislocation et à la dérive du Gondwana (DU TOIT, 1937 ; KING, 1962 ; FURON, 1960) ; mais peu de renseignements se rapportant à Madagascar sont connus et sa place dans les diverses reconstitutions proposées restait imprécise (AHMAD, 1961 ; McELHINNY and LUCK, 1970 ; TARLING, 1971 ; SMITH and HALLAM, 1970).

Le but de ce travail est d'essayer de montrer la place de Madagascar dans la dérive des continents gondwaniens, notamment au Crétacé où le déplacement des divers fragments semble avoir atteint une plus grande ampleur (KING, 1962 ; BRIDEN, 1967 ; OPDYKE and McELHINNY, 1964 ; McELHINNY, 1967 ; VERMA and NARAIN, 1968).

## II – GÉNÉRALITÉS SUR MADAGASCAR

Localisée dans la partie occidentale de l'Océan Indien, Madagascar s'étend du Nord au Sud entre les parallèles 12° Sud et 25°5 Sud. Elle est séparée de l'Afrique par le canal de Mozambique.

Les grandes lignes de sa structure géologique s'établissent ainsi (Fig. 1) :

- le socle précambrien qui forme presque toute sa partie orientale. Il est divisé en trois grands systèmes avec à la base le système androyen, puis celui du graphite et au sommet le système du Vohibory.
- les terrains sédimentaires qui connaissent un développement considérable sur la zone côtière occidentale. Ils comprennent de grandes formations appartenant au système de Karroo.
- enfin, les formations volcaniques qui sont disséminées en divers endroits de l'île.

On peut distinguer deux grandes phases volcaniques principales à Madagascar, l'une crétacée, l'autre plio-quadernaire. La première s'est manifestée plus particulièrement sur les côtes occidentale et orientale, tandis que le Nord et le Centre ont surtout été le théâtre de volcanismes plus récents. (Les recherches paléomagnétiques sur ces derniers se poursuivent et feront l'objet d'autres publications).

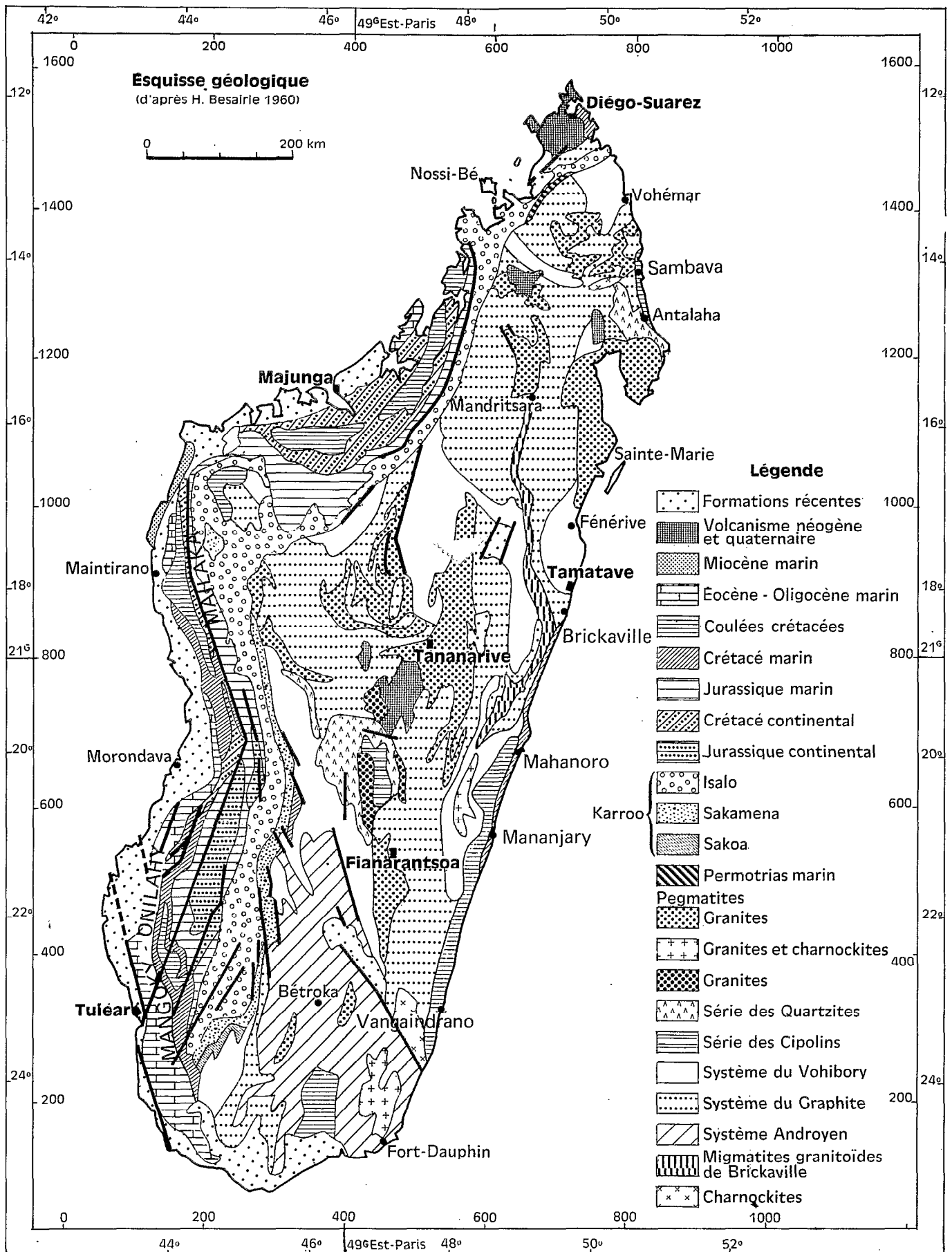


Fig. 1 - Carte géologique schématique de Madagascar

Il n'y a pas de volcanisme karroo à Madagascar contrairement aux autres pays du Gondwana.

Sur la côte Ouest l'interstratification des coulées dans des couches sédimentaires bien connues a permis de localiser les éruptions, les unes au Turonien moyen, les autres à la limite du Turonien et du Coniacien, les autres à l'extrême base du Campanien (BESAIRIE, 1966, 1967). Sur la côte Est et dans le Sud on n'a que des arguments géologiques parfois assez vagues pour justifier leur appartenance au Crétacé supérieur. C'est pourquoi, pour ce travail qui nécessite une connaissance précise de l'âge des formations étudiées, il a été fait appel à des mesures radiométriques. Les datations par la méthode du potassium-argon donnent des âges compris entre 70 et 75 MA pour les formations de la côte Est et du Sud et entre 85 et 90 MA, pour celles de la côte Ouest. Ces âges sont déterminés avec une précision de plus ou moins 10% (B.R.G.M. S.G.N., 1971).

### III – ÉTUDE PALEOMAGNETIQUE

#### 1. Répartition des formations étudiées

Les formations géologiques envisagées dans cette étude sont exclusivement volcaniques, elles proviennent de plusieurs régions situées le long des côtes et dans le Sud (Fig.1).

Sur la côte Est, les recherches ont porté successivement sur les formations filoniennes qui s'étendent entre Fénérive et Brickaville et sur la grande bande volcanique qui longe le littoral sur 450 km depuis Mahanoro jusqu'à Vangaindrano.

Dans le Sud, le massif volcanique de l'Androy a fourni des éléments de recherche appréciables.

Sur la côte Ouest, les formations étudiées comprennent le groupe volcanique du Mangoky-Onilahy, dans la région de Tuléar et les plateaux basaltiques du Mailaka et de l'Antanimena, dans le secteur de Majunga.

Au total, 430 blocs de roche orientés ont été examinés ; ils ont été prélevés dans 72 sites différents et suivant la méthode préconisée par THELLIER (1938, 1967). Pour avoir une bonne représentativité, les points de prélèvement ont été répartis aussi uniformément que possible dans chacune des formations envisagées.

#### 2. Études en laboratoire

##### 2.1. Mesure de l'aimantation rémanente

Les mesures de l'aimantation rémanente (en intensité et en direction) ont été exécutées à l'aide d'un inductomètre réalisé par R. RÉMIOT et dont le principe est analogue à celui décrit par THELLIER (1938, 1967). Elles sont reproductibles à 3% près pour les moments et à 2° pour les directions.

## 2.2. Analyse de l'aimantation rémanente naturelle

L'analyse des aimantations rémanentes naturelles a été faite en soumettant tous les échantillons à l'action de champs alternatifs d'intensité croissante (J.A. AS and ZIJDERVELD, 1958 ; THELLIER et RIMBERT, 1954. ; RIMBERT, 1959). Le champ alternatif qui annule les composantes secondaires d'aimantation a été déterminé pour chaque bloc de roche orienté.

Cette méthode a été préférée à celle qui consiste à définir un champ moyen pour l'ensemble des échantillons pris dans un site (IRVING, STOTT and WARD, 1961). En effet, dans cette seconde méthode le champ qui annule les composantes secondaires peut ne pas être le même pour tous les blocs de roche prélevés dans le site à cause d'une part, d'une variation toujours possible dans la constitution minéralogique de la roche et d'autre part, de la possibilité d'une aimantation consécutive à des coups de foudre qui peut être extrêmement différente d'un échantillon à un autre, en particulier dans le cas d'un site de prélèvement étendu. Dans ces conditions, si l'on utilise un champ moyen, un échantillon peut être ou trop désaimanté ou, au contraire, pas assez désaimanté.

Le premier phénomène n'entraîne aucune conséquence grave ; par contre, lorsque l'échantillon est insuffisamment désaimanté, toutes les aimantations secondaires peuvent ne pas être détruites et cela pourrait entraîner une source supplémentaire de dispersion.

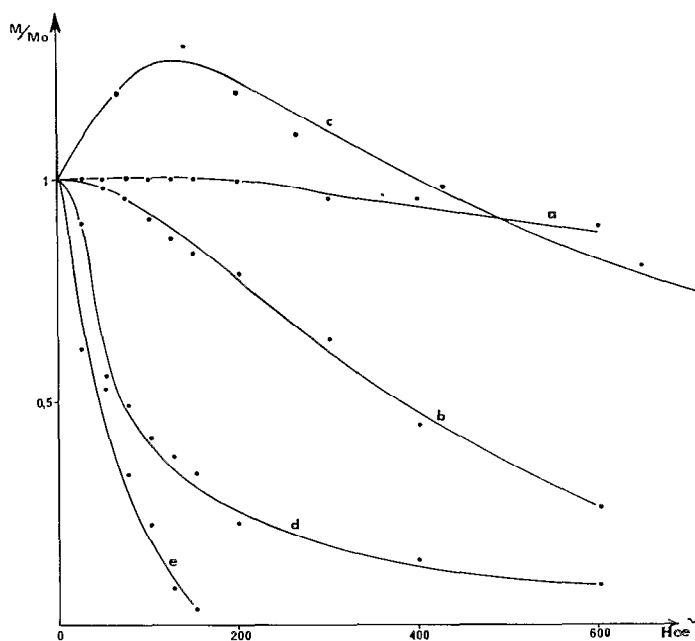


Fig. 2 — Différents types de courbe de désaimantation :

- a : Cas d'une aimantation «très dure»
- b : " " moyennement «dure»
- c : " " «dure» partiellement stable
- d : " " «douce»
- e : " " molle et instable.

L'étude de la stabilité des aimantations a été associée à celle de la «dureté». Les types de courbes de désaimantation obtenues sont indiquées sur la Figure 2.

Les courbes du type a ou b sont caractéristiques des aimantations naturelles stables et «dures». Celles-ci ont été interprétées comme étant d'origine thermorémanente. Lorsqu'une fraction seulement de l'aimantation naturelle est stable, les courbes sont du type c ou d. La diminution progressive ou l'augmentation initiale de l'intensité d'aimantation accompagnée d'un changement significatif de la direction du vecteur aimantation correspondant indique une composante instable. Celle-ci disparaît au fur et à mesure que l'intensité du champ alternatif appliqué croît et la direction de l'aimantation tend vers la direction de la composante la plus stable qui a été considérée comme étant thermorémanente. Enfin, dans le cas où l'aimantation rémanente naturelle ne comporte aucune fraction stable, on obtient des courbes du type e. (Dans l'exemple présenté, la courbe indique une pente initiale négative ; lorsque l'aimantation naturelle est la résultante de plusieurs aimantations secondaires, la pente initiale peut être positive).



### *2.3. Calcul de la direction moyenne d'aimantation*

Pour donner aux résultats expérimentaux la meilleure signification paléomagnétique possible, chaque direction d'aimantation relative à un site de prélèvement a été considérée comme une observation individuelle. La détermination de la direction moyenne correspondant à toute une formation a été ensuite obtenue de la manière suivante :

Supposons une formation géologique donnée comportant S sites de prélèvement. Dans chaque site N blocs de roche orientés ont été prélevés et supposons que n représente le nombre d'échantillons extraits de chaque bloc.

Pour chaque échantillon la direction d'aimantation a été mesurée. La méthode statistique de FISHER (1953) a été appliquée à ces n directions pour obtenir la direction relative à un bloc. Les N directions ainsi calculées ont été à leur tour traitées par le même procédé pour obtenir la direction correspondant au site d'où ces blocs ont été cueillis. Enfin, les directions d'aimantation des S sites ont été analysées de la même manière que dans les stades précédents pour définir la direction caractéristique de toute la formation à laquelle ils appartiennent.

Une telle manière de procéder possède l'avantage de réduire les dispersions dues aux erreurs expérimentales. Ce n'est cependant qu'un compromis puisque le nombre d'échantillons tirés de chaque bloc ou le nombre de blocs prélevés par site peut varier beaucoup. L'idéal serait que N et n soient constants.

### *2.4. Pôle géomagnétique virtuel*

La position du pôle géomagnétique virtuel moyen relatif à une région et à une époque géologique a été obtenue en appliquant sur la sphère terrestre un calcul analogue à celui développé par R.A. FISHER pour des points sur la sphère.

## IV – RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

### 1. Le paléomagnétisme des filons doléritiques de la côte centre Nord-Est

Sur la zone bordière de la côte centre Nord-Est se trouvent de nombreux filons ayant généralement une direction subméridienne. Au Nord, ils se trouvent dans les migmatites qui bordent la côte ; au Sud, on les rencontre dans les paragneiss. Au Nord comme au Sud, il s'agit de dolérite dépourvue d'olivine (BESAIRIE, 1969 ; HOTTIN, 1967).

Des datations par la méthode du potassium-argon donnent un âge moyen de 74 MA.

L'étude paléomagnétique de cette région a porté sur 70 blocs de roche prélevés dans 11 sites répartis aussi uniformément que possible sur l'ensemble de la formation.

L'examen des aimantations rémanentes naturelles des blocs révèle des directions généralement différentes de la direction actuelle du champ magnétique terrestre dans la région. Leur analyse a permis de déterminer la direction de l'aimantation caractéristique de 48 blocs (Fig.3b). En groupant les échantillons par site, on obtient les directions moyennes représentées sur la Figure 3c.

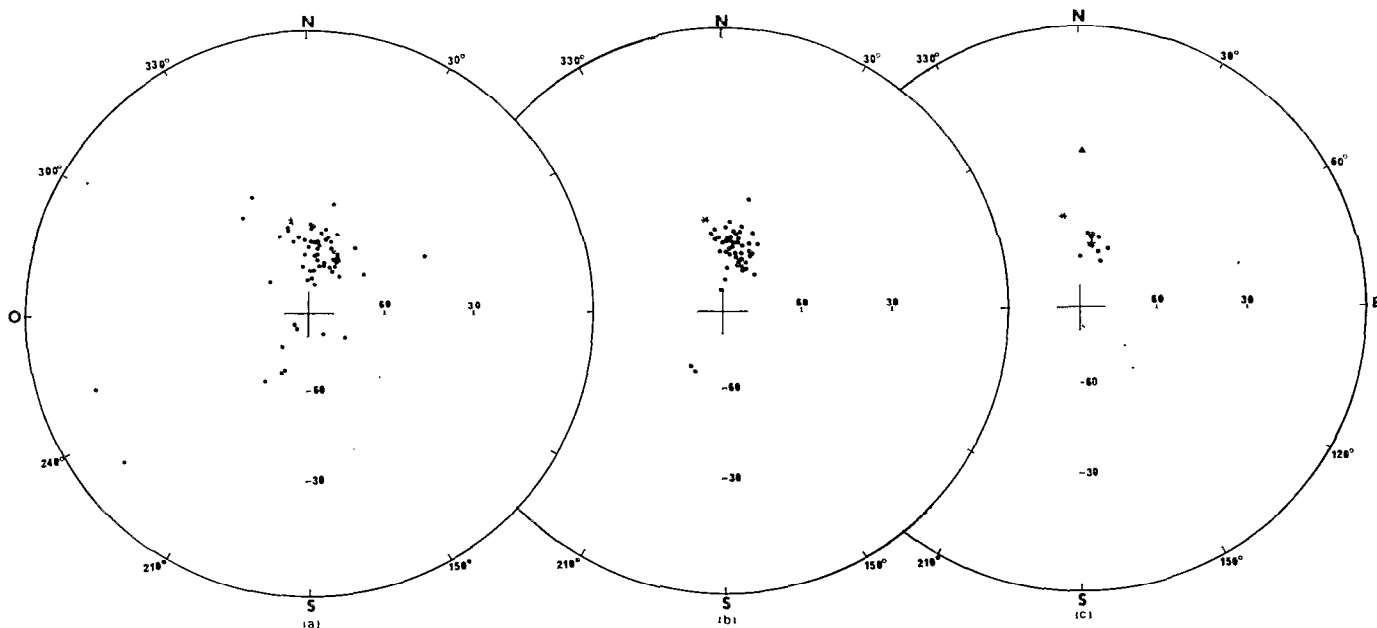


Fig. 3 - Côte Centre Nord-Est

Directions des aimantations

a - rémanentes naturelles

b - stables caractéristiques des échantillons

c - caractéristiques des sites

\* : direction du champ magnétique terrestre actuel

+ : direction moyenne d'aimantation de l'ensemble des sites

▲ : direction du champ dipolaire

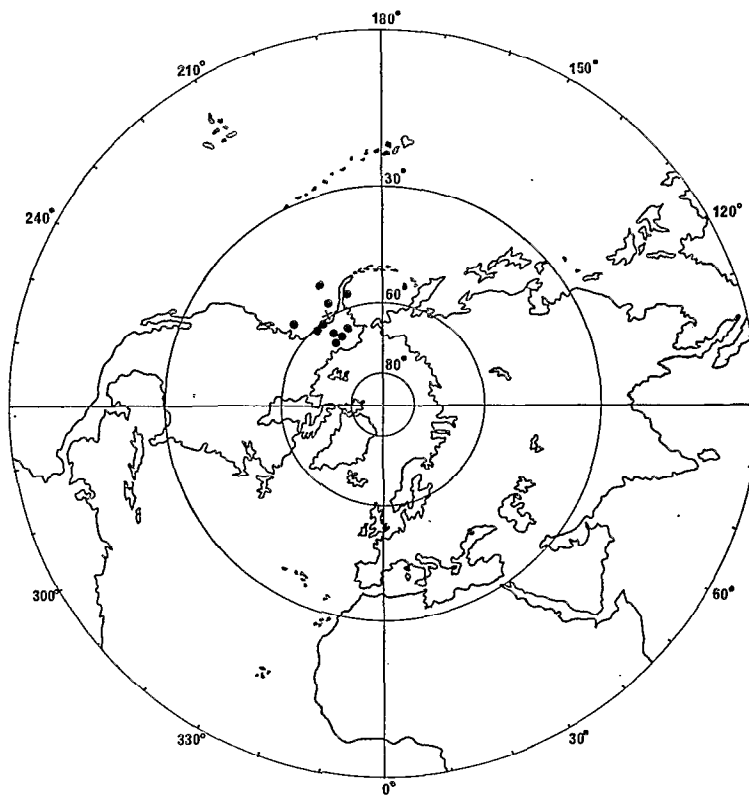


Fig. 4 - Côte Centre Nord-Est : position des pôles virtuels

● : pôle virtuel relatif à un site

+ , position moyenne

▲ : pôle virtuel actuel relatif à Madagascar

Tous les sites se sont aimantés dans le sens du champ magnétique terrestre actuel à Madagascar (Tableau I). La moyenne de leur direction d'aimantation doit correspondre à la direction du champ magnétique ancien qui serait alors de :

$$D = 11^\circ \quad I = -65^\circ$$

avec N (nombre de sites retenus pour le calcul de la moyenne) = 10, k (paramètre de précision de R.A. FISHER = 307 et  $\alpha$  (rayon du cercle d'erreur à 95 %) = 3°.

Tous les pôles virtuels, dont les coordonnées sont également données dans le Tableau I, sont décalés par rapport au pôle géographique (Fig. 4).

**Tableau I\***  
COTE CENTRE NORD-EST  
Directions moyennes d'aimantation et position des pôles virtuels

SITE	$\varphi_0$	$\lambda_0$	N	D	I	$\alpha$	$\varphi'$	$\lambda'$
Fénériver-Plage	- 17°22	47°05	9	20°	- 70°	6°	60°	208°
Fénériver carrière	- 17°23	47°06	12	9°	- 65°	5°	60°	215°
Morafeno	- 17°27	46°58	4	358°	- 70°	15°	54°	229°
Ambatobe	- 17°27	47°02	7	8°	- 65°	8°	60°	216°
Mahambo	- 17°28	49°28	5	valeurs non significatives				
Bemenaka	- 18°02	47°01	6	7°	- 62°	5°	64°	215°
Ambodivato-Sud	- 18°02	47°03	4	8°	- 60°	4°	66°	212°
Ambinanindrano	- 18°06	47°03	4	6°	- 60°	13°	66°	216°
Fanandrana	- 18°15	46°56	3	15°	- 67°	6°	56°	210°
Ambarimilambana	- 18°26	46°49	4	23°	- 64°	5°	56°	198°
Brickaville	- 18°49	46°44	11	13°	- 61°	4°	64°	204°

## 2. Le paléomagnétisme des coulées volcaniques de la côte Sud-Est

Sur la côte Est depuis le parallèle de Mahanoro jusqu'au Sud de Vangaindrano, s'étalent de grands épanchements de laves constituées par des roches acides et basiques. Les premières moins étendues sont principalement localisées dans le secteur de Mahanoro-Mananjary. Vers le Sud, on ne les rencontre que très sporadiquement. Ces laves sont formées essentiellement par des rhyolites et des dacites.

\* Dans ce tableau et dans les tableaux analogues les lettres ont les significations suivantes :

- $\varphi_0$  : Latitude du site
- $\lambda_0$  : Longitude Est du site
- N : Nombre de blocs orientés prélevés dans le site
- D : Déclinaison de l'aimantation caractéristique du site
- I : Inclinaison de l'aimantation caractéristique du site
- $\alpha$  : Rayon du «cercle d'erreur» à 95 %
- $\varphi'$  : Latitude du pôle virtuel
- $\lambda'$  : Longitude Est du pôle virtuel

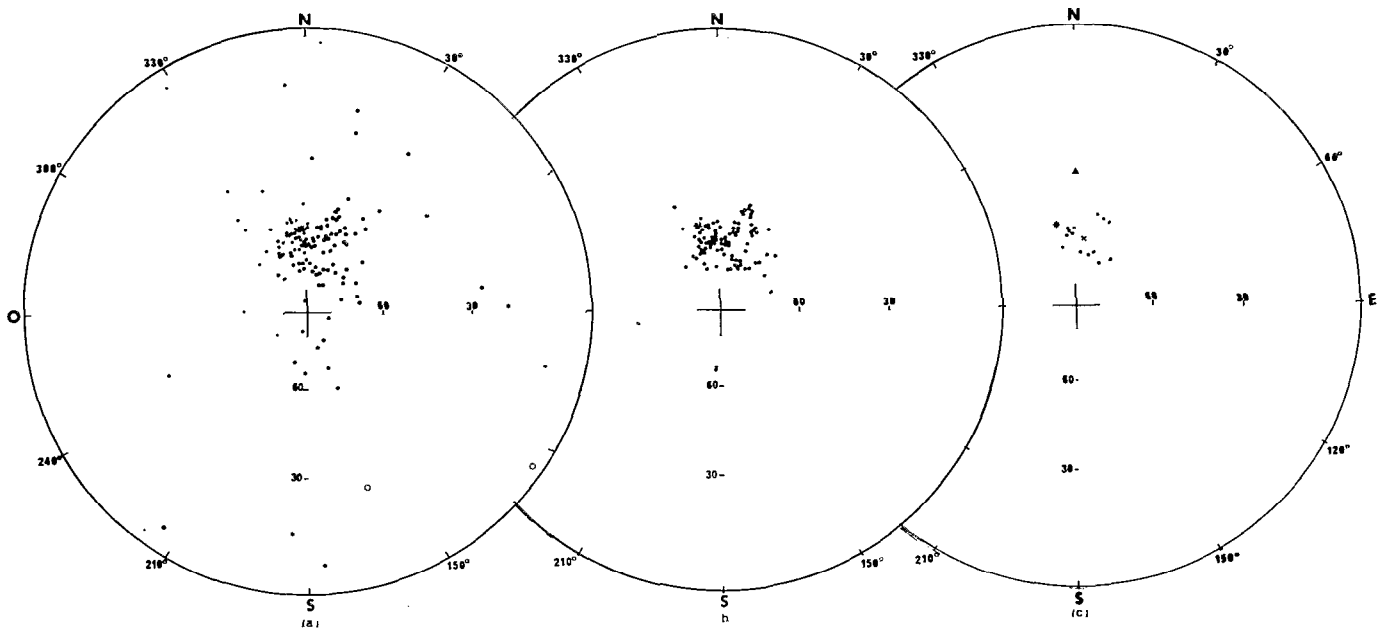


Fig. 5 - Côte Sud-Est  
 Directions des aimantations  
 a - rémanentes naturelles  
 b - stables, caractéristiques des échantillons  
 c - caractéristiques des sites  
 \* : Direction du champ magnétique terrestre actuel  
 + : Direction moyenne d'aimantation de l'ensemble des sites  
 ▲ : Direction du champ dipolaire  
 ● : Inclinaison négative (normale)  
 ○ : Inclinaison positive

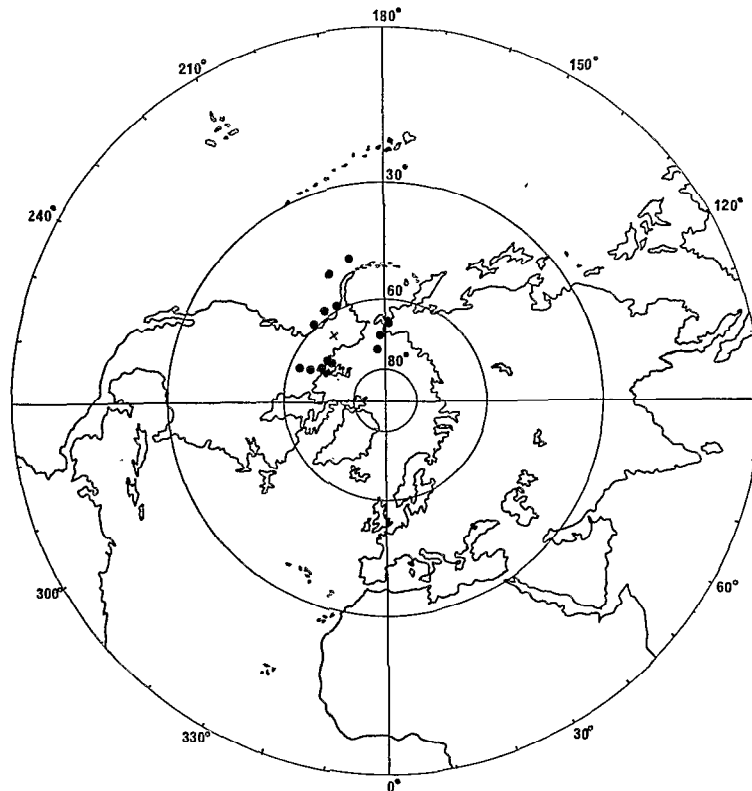


Fig. 6 - Côte Sud-Est : position des pôles virtuels  
 ● : pôle virtuel relatif à un site  
 + : position moyenne

Les laves basiques plus développées s'étendent du Nord au Sud de façon quasiment continue. Elles comprennent des sakalavites (basaltes renfermant de la silice), des basaltes et des labradorites (BOULANGER, 1958).

Des mesures d'âge effectuées aussi bien sur roche acide (dacite) que sur roche basique (basalte) donnent des âges compris entre 70 et 75 MA.

Le nombre de blocs de roche orientés étudiés s'élève à 130, ils appartiennent à 16 sites différents parmi lesquels deux sont constitués par des roches dacitiques.

Les aimantations rémanentes naturelles des blocs sont caractérisées par une certaine dispersion (Fig.5a). Leur analyse a permis cependant de déterminer l'aimantation caractéristique de 75 % des blocs étudiés. Ces aimantations présentent des directions bien groupées (Fig.5b).

Les directions d'aimantation des sites sont représentées sur la Figure 5c. La comparaison de leur moyenne ( $D = 7^\circ$ ,  $I = -64^\circ$  avec  $N = 14$ ,  $k = 81$  et  $\alpha = 4^\circ$ ) avec la direction qu'aurait un champ dipolaire géocentrique axial à la latitude moyenne des sites fait apparaître un écart angulaire de l'ordre de  $25^\circ$ .

Toutes les aimantations présentent des inclinaisons de signe identique à celui de l'inclinaison magnétique actuelle (Tableau II). En ce qui concerne les pôles virtuels, leur position moyenne est différente du pôle géographique (Fig.6).

Tableau II  
COTE SUD-EST  
Directions moyennes d'aimantation et positions des pôles virtuels

SITE	$\varphi_0$	$\lambda_0$	N	D	I	$\alpha$	$\varphi'$	$\lambda'$
Andranomanitsy	- 20°37	48°16	5	353°	- 61°	3°	68°	242°
Anosimparihy	- 21°09	48°14	6	350°	- 62°	3°	66°	247°
Pk 14 - Mananjary	- 21°13	48°15	5	38°	- 68°	7°	47°	193°
Mahatsinjo	- 21°15	48°19	4	357°	- 60°	7°	70°	235°
Antsenavolo	- 21°23	48°03	5	5°	- 69°	13°	59°	222°
Ankazoharaka	- 22°03	47°59	12	17°	- 68°	6°	59°	208°
Manakara-Irondro Pk 3,5	- 22°05	48°00	6	17°	- 55°	8°	70°	183°
Manakara-Vohipeno Pk 8,5	- 22°10	47°58	8	29°	- 71°	2°	50°	203°
Manakara-Vohipeno Pk 7,5	- 22°11	47°58	7	valeurs non significatives				
Manakara-Vohipeno Pk 24	- 22°14	47°53	12	22°	- 55°	4°	67°	177°
Vohipeno	- 22°20	47°51	5	13°	- 69°	6°	58°	212°
Vohipeno-Farafangana Pk 19	- 22°40	47°48	3	13°	- 54°	3°	74°	187°
Farafangana	- 22°46	47°47	38	356°	- 62°	3°	69°	235°
Lohangisa	- 23°07	47°43	3	346°	- 66°	10°	62°	248°
Farafangana- Vangaindrano Pk 44	- 23°08	47°42	8	valeurs non significatives				
Lopary	- 23°11	47°41	4	353°	- 60°	6°	71°	244°

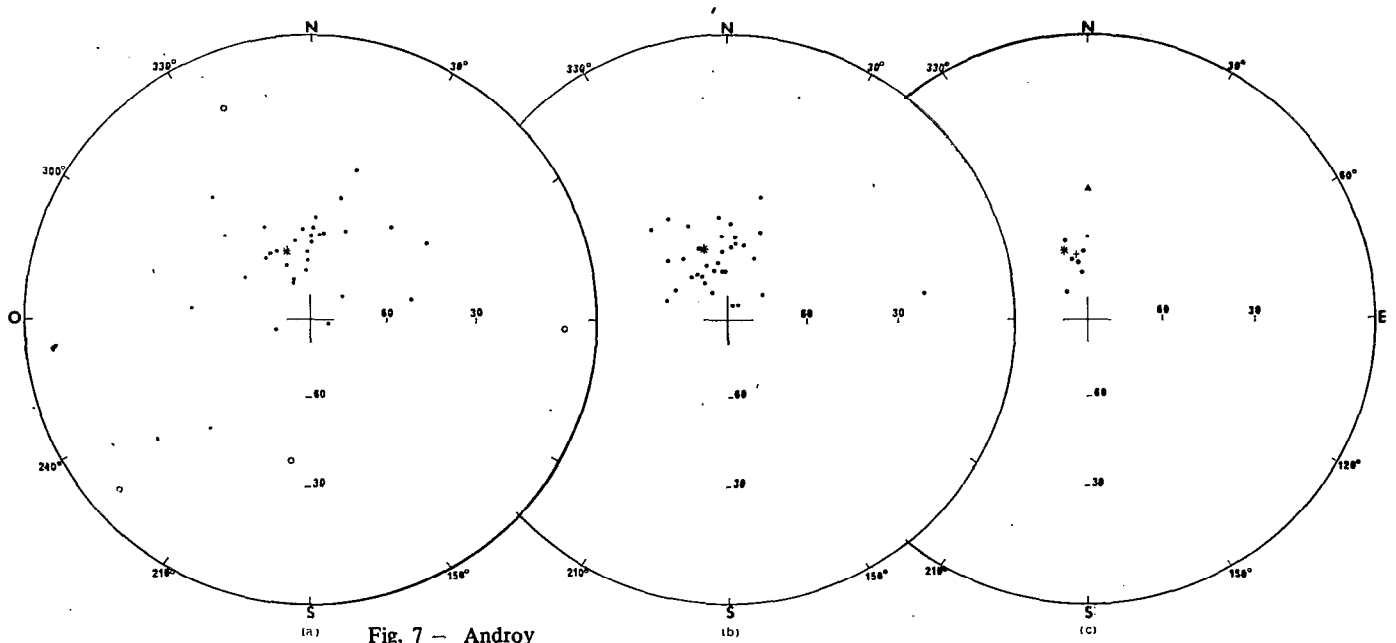


Fig. 7 - Androy

Directions des aimantations

a - rémanentes naturelles

b - stables, caractéristiques des échantillons

c - caractéristiques des sites

\* : Direction du champ magnétique terrestre actuel

+ : Direction moyenne d'aimantation de l'ensemble des sites

▲ : Direction du champ dipolaire à la latitude de Tsivory

● : Inclinaison négative (normale)

○ : Inclinaison positive

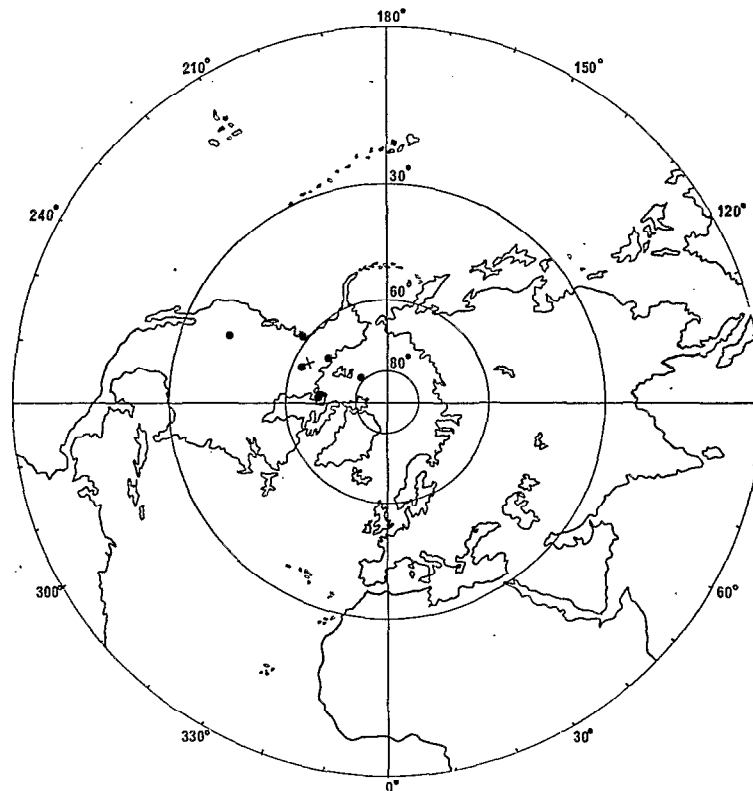


Fig. 8 - Androy : position des pôles virtuels

● : pôle virtuel relatif à un site

+ : position moyenne

### 3. Le paléomagnétisme du massif volcanique de l'Androy

Situé à l'extrême Sud du pays le massif volcanique de l'Androy se présente en un vaste ovale dont le grand axe d'une longueur de 90 km environ est orienté Nord-Sud (Fig.1). Il est composé principalement d'épanchements basaltique et rhyolitique. D'après les mesures d'âge effectuées sur des basaltes, par la méthode du potassium-argon, l'âge moyen du massif serait de 70 MA.

L'étude paléomagnétique du massif a porté sur 40 blocs de roche orientés constitués uniquement par du basalte et prélevés dans 8 sites différents. Leurs aimantations rémanentes naturelles se sont montrées dispersées (Fig. 7a).

La désaimantation progressive de tous les blocs a montré que 32 d'entre eux possèdent une aimantation caractéristique. Leurs directions sont mieux groupées que celles des aimantations naturelles (Fig.7b). Quant aux directions d'aimantation caractéristiques des sites, elles sont données dans le Tableau III et représentées sur la Figure 7c. Leur moyenne considérée comme représentative de la direction du champ magnétique ancien est de :

$$D = 349^{\circ} \quad I = -66^{\circ}$$

avec  $N = 6$ ,  $k = 82$  et  $\alpha = 7^{\circ}$ .

Sa position est à près de  $25^{\circ}$  d'arc de celle qu'aurait un champ dipolaire géocentrique axial.

Les aimantations dans tous les sites ont été acquises dans le sens normal (Tableau III). En ce qui concerne les pôles virtuels dont les coordonnées sont également données dans le tableau précédent, leur position moyenne est différente de manière significative du pôle géographique (Fig.8).

**Tableau III**  
**MASSIF DE L'ANDROY**  
Directions moyennes d'aimantation et positions des pôles virtuels

SITE	$\varphi_0$	$\lambda_0$	N	D	I	$\alpha$	$\varphi'$	$\lambda'$
Tsilanja	$-24^{\circ}03$	$46^{\circ}08$	5	valeurs non significatives				
Ampiha	$-24^{\circ}04$	$46^{\circ}03$	10'	$321^{\circ}$	$-77^{\circ}$	$8^{\circ}$	$42^{\circ}$	$247^{\circ}$
Andrantina a	$-24^{\circ}11$	$45^{\circ}59$	5	$345^{\circ}$	$-67^{\circ}$	$9^{\circ}$	$62^{\circ}$	$247^{\circ}$
Andrantina b	$-24^{\circ}12$	$45^{\circ}59$	5	valeurs non significatives				
Andrantina c	$-24^{\circ}12$	$45^{\circ}58$	4	$356^{\circ}$	$-64^{\circ}$	$16^{\circ}$	$68^{\circ}$	$234^{\circ}$
Andrantina d	$-24^{\circ}12$	$45^{\circ}59$	5	$355^{\circ}$	$-72^{\circ}$	$13^{\circ}$	$58^{\circ}$	$231^{\circ}$
Andrantina e	$-24^{\circ}12$	$45^{\circ}59$	3	$343^{\circ}$	$-58^{\circ}$	$15^{\circ}$	$69^{\circ}$	$266^{\circ}$
Anaramalinika	$-24^{\circ}26$	$46^{\circ}02$	4	$359^{\circ}$	$-57^{\circ}$	$7^{\circ}$	$78^{\circ}$	$229^{\circ}$

### 4. Le paléomagnétisme du groupe volcanique du Mangoky-Onilahy

Les manifestations volcaniques sur la côte Sud-Ouest comprennent trois périodes d'éruptions, la première ayant eu lieu au milieu du Turonien, la seconde à l'extrême base du Campanien et la troisième au Pliocène récent (BESAIRIE, 1967).

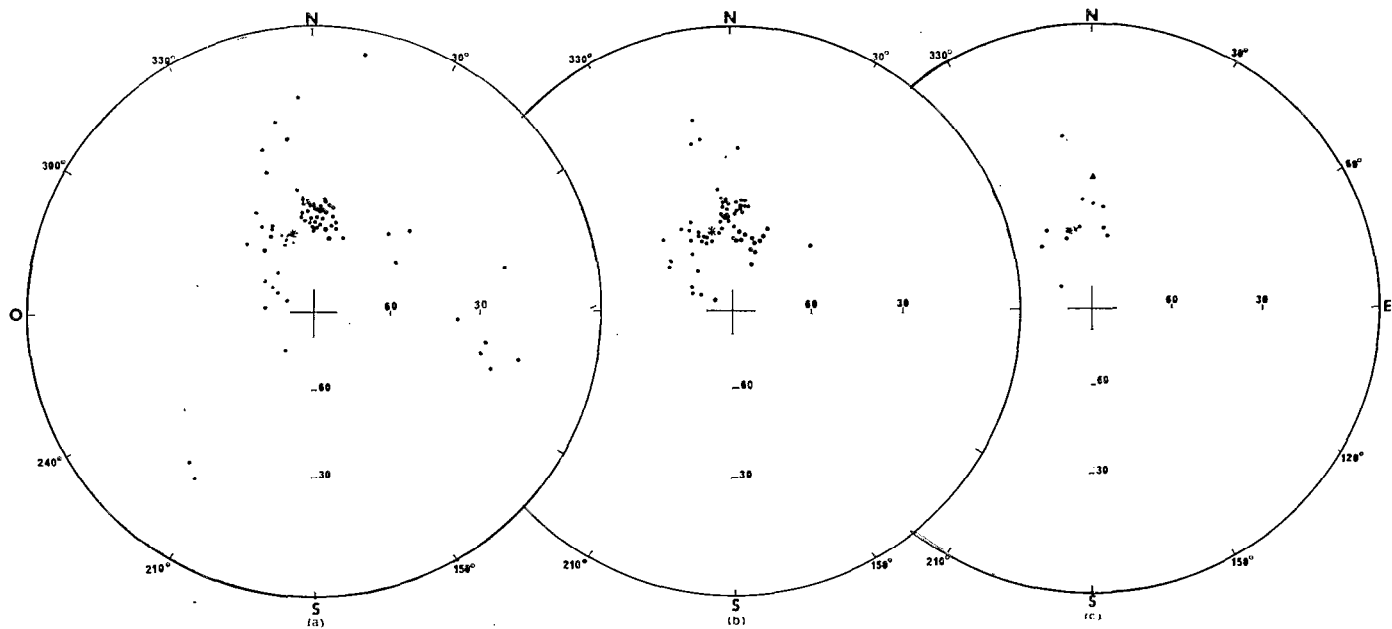


Fig. 9 - Mangoky-Onilahy

Directions des aimantations

a - rémanentes naturelles

b - stables caractéristiques des échantillons

c - caractéristiques des sites

\* : direction du champ magnétique terrestre actuel

+ : direction moyenne d'aimantation de l'ensemble des sites

▲ : direction du champ dipolaire

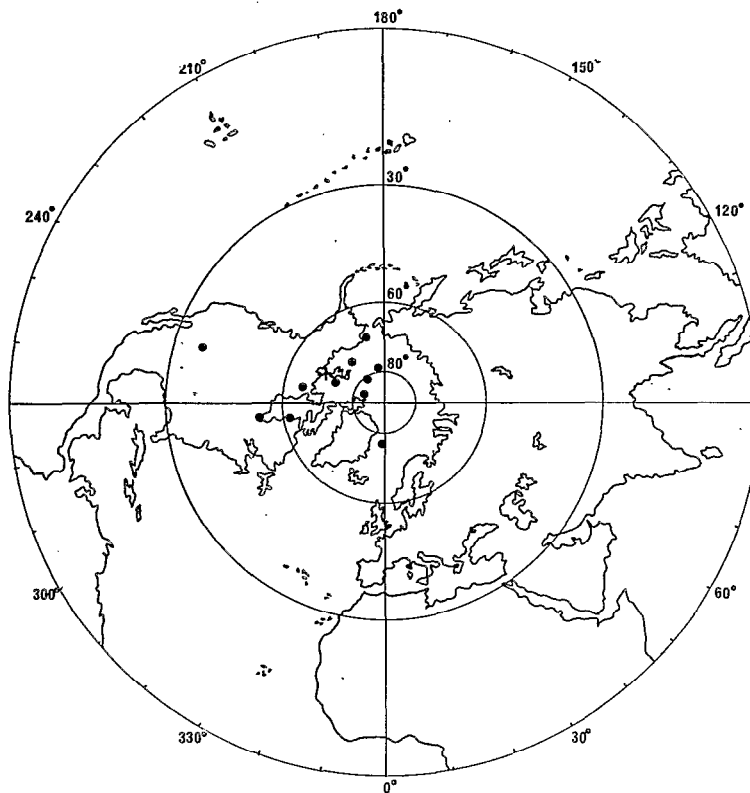


Fig. 10 - Mangoky-Onilahy : position des pôles virtuels

● : pôle virtuel relatif à un site

+ : position moyenne



Les deux premières éruptions sont de loin les plus importantes et seront seules considérées ici. Elles ont donné naissance à de grands épanchements basaltiques qui s'étendent depuis le Mangoky jusqu'au sud de l'Onilahy. Le volcanisme pliocène récent a fourni de petits pointements localisés principalement au nord de Tuléar.

Des datations radiochronologiques par la méthode du potassium-argon ont donné pour deux échantillons prélevés dans la partie Sud du groupe (à Vatolatsaka) un âge moyen de 87 MA. D'après l'échelle publiée par la Société géologique de Londres, la base du Campanien correspond approximativement à 76 MA (Geol. Soc. London, 1964). On se trouve donc là à la limite de la précision avec laquelle l'âge a été obtenu par datation radiochronologique.

Cette région a déjà fait l'objet d'une étude (ANDRIAMIRADO et ROCHE, 1969). Depuis de nouveaux sites ont été examinés ; à leur stade actuel, les recherches portent sur plus de 70 blocs de roche orientés prélevés dans 12 sites différents.

L'étude des aimantations rémanentes naturelles a montré que certaines des directions sont groupées loin de la direction du champ magnétique actuel dans la région ; d'autres sont très dispersées (Fig.9a). 62 des blocs possèdent des aimantations caractéristiques dont les directions sont bien groupées (Fig.9b). En ce qui concerne les aimantations caractéristiques des sites, elles sont toutes dirigées suivant le sens actuel du champ magnétique terrestre à Madagascar (Tableau IV). La moyenne de leurs directions qui doit correspondre au champ magnétique ancien est de :

$$D = 350^{\circ} \quad I = -59^{\circ}$$

avec  $N = 10$  [le site de Manamana dont la direction de l'aimantation caractéristique présente un écart important avec le groupe des autres sites (Tableau IV) a été exclu],  $k = 39$  et  $\alpha = 8^{\circ}$ .

Sa position est à  $19^{\circ}$  d'arc environ de celle qu'aurait un champ dipolaire axial centré (Fig.9c).

Les coordonnées des pôles virtuels sont également indiquées dans le Tableau IV et leur position respective est représentée sur la Figure 10. La position moyenne de ces pôles présente un écart significatif avec celle du pôle géographique.

**Tableau IV**  
**MANGOKY-ONILAHY**  
Directions moyennes d'aimantation et positions des pôles virtuels

SITE	$\varphi_0$	$\lambda_0$	N	D	I	$\alpha$	$\varphi'$	$\lambda'$
Tsiarimpioky	$-21^{\circ}57$	$44^{\circ}02$	5	$340^{\circ}$	$-61^{\circ}$	$2^{\circ}$	$64^{\circ}$	$259^{\circ}$
Manamana	$-22^{\circ}27$	$44^{\circ}31$	4	$351^{\circ}$	$-27^{\circ}$	$8^{\circ}$	$78^{\circ}$	$358^{\circ}$
Miary-Sud	$-22^{\circ}27$	$44^{\circ}27$	5	$330^{\circ}$	$-56^{\circ}$	$6^{\circ}$	$61^{\circ}$	$280^{\circ}$
Mamahapaha	$-22^{\circ}30$	$44^{\circ}13$	5	$304^{\circ}$	$-75^{\circ}$	$5^{\circ}$	$36^{\circ}$	$253^{\circ}$
Ambinda	$-22^{\circ}33$	$44^{\circ}27$	5	valeurs non significatives				
Andolofotsy	$-22^{\circ}46$	$44^{\circ}19$	6	$321^{\circ}$	$-59^{\circ}$	$6^{\circ}$	$53^{\circ}$	$277^{\circ}$
Anapaly	$-22^{\circ}52$	$44^{\circ}12$	6	$2^{\circ}$	$-50^{\circ}$	$2^{\circ}$	$81^{\circ}$	$212^{\circ}$
Manety	$-22^{\circ}59$	$44^{\circ}10$	6	$7^{\circ}$	$-51^{\circ}$	$2^{\circ}$	$79^{\circ}$	$190^{\circ}$
Vineta	$-23^{\circ}03$	$44^{\circ}16$	12	$11^{\circ}$	$-60^{\circ}$	$4^{\circ}$	$69^{\circ}$	$199^{\circ}$
Anketa	$-23^{\circ}07$	$44^{\circ}17$	6	$355^{\circ}$	$-48^{\circ}$	$2^{\circ}$	$83^{\circ}$	$263^{\circ}$
Vatolatsaka	$-23^{\circ}19$	$44^{\circ}17$	3	$351^{\circ}$	$-58^{\circ}$	$4^{\circ}$	$73^{\circ}$	$247^{\circ}$
Anaralava	$-23^{\circ}34$	$44^{\circ}14$	10	$8^{\circ}$	$-58^{\circ}$	$6^{\circ}$	$73^{\circ}$	$203^{\circ}$

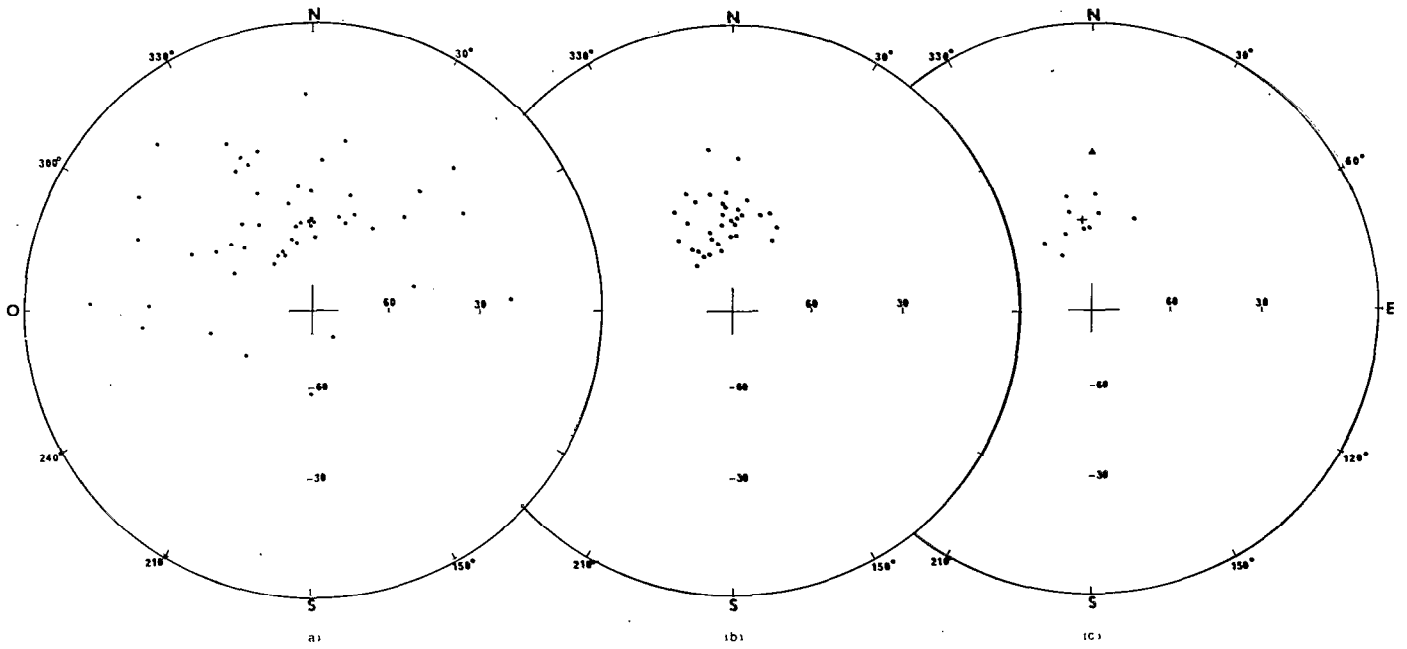


Fig. 11 - Mailaka

Directions des aimantations

a - rémanentes naturelles

b - stables, caractéristiques des échantillons.

+ : Direction moyenne d'aimantation de l'ensemble des sites

▲ : Direction du champ dipolaire

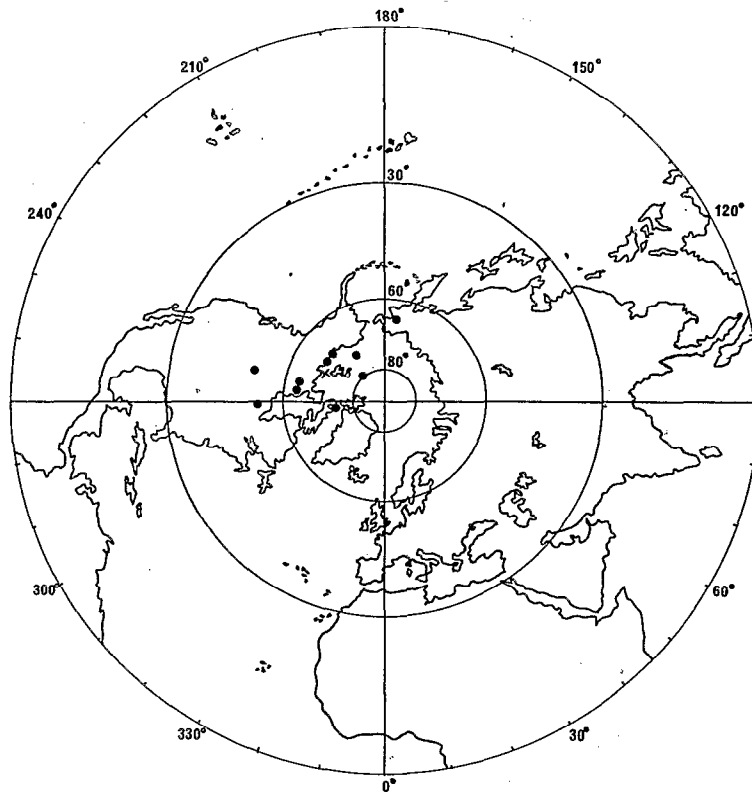


Fig. 12 - Mailaka : position des pôles virtuels

● : pôle virtuel relatif à un site

+ : position moyenne

## 5. Le paléomagnétisme du plateau basaltique du Mailaka

Le plateau basaltique du Mailaka s'allonge du nord au sud sur plus de 200 km, avec des largeurs moyennes de 25 km au nord et de 40 km dans sa partie centrale. Vers le sud, la largeur des coulées se rétrécit jusqu'à un ou deux km.

Ces grands épanchements volcaniques sont bien datés à Antsalova où les coulées s'intercalent entre le Turonien et le Coniacien inférieur (BESAIRIE, 1967).

Douze points de prélèvement ont été répartis sur toute l'étendue du plateau. Le nombre de blocs étudiés s'élève à 51. Leurs aimantations rémanentes naturelles sont caractérisées par la grande dispersion des directions (Fig.11a). 32 d'entre eux possèdent cependant des aimantations caractéristiques. Les directions d'aimantation relatives aux sites retenus sont toutes de sens normal (Tableau V). Leur moyenne est de :

$$D = 352^\circ \quad I = -56^\circ$$

avec  $N = 10$ ,  $k = 50$  et  $\alpha = 7^\circ$ .

La direction ainsi définie est considérée comme représentative du champ magnétique ancien. Sa position est à  $16^\circ$  de celle d'un champ dipolaire géocentrique axial (Fig.11c).

En ce qui concerne les pôles virtuels, la comparaison de leur position moyenne avec le pôle géographique fait apparaître un écart significatif (Fig.12).

**Tableau V**  
**PLATEAU DU MAILAKA**  
Directions moyennes d'aimantation et positions des pôles virtuels

SITE	$\varphi_\alpha$	$\lambda_o$	N	D	I	$\alpha$	$\varphi'$	$\lambda'$
Ampanangana	- 17°12	44°19	5	4°	- 53°	9°	73°	212°
Tsilomano	- 17°34	44°19	5	24°	- 52°	15°	64°	174°
Marifilaly	- 17°44	44°20	5	355°	- 58°	6°	69°	235°
Mangily	- 17°57	44°21	4	1°	- 46°	10°	80°	221°
Belitsaka	- 17°58	44°21	3	324°	- 59°	15°	52°	271°
Ambizy	- 17°59	44°11	5	valeurs non significatives				
Vohidroa	- 18°04	44°27	4	330°	- 66°	3°	51°	257°
Andriambato	- 18°08	44°12	3	valeurs non significatives				
Tsaratsimena	- 18°09	44°11	5	358°	- 58°	11°	69°	229°
Ankaboka	- 18°29	44°31	5	347°	- 46°	14°	75°	275°
Berevo	- 18°36	44°28	5	340°	- 59°	30°	63°	259°
Mahitiamboay	- 18°45	44°33	4	347°	- 51°	11°	72°	263°

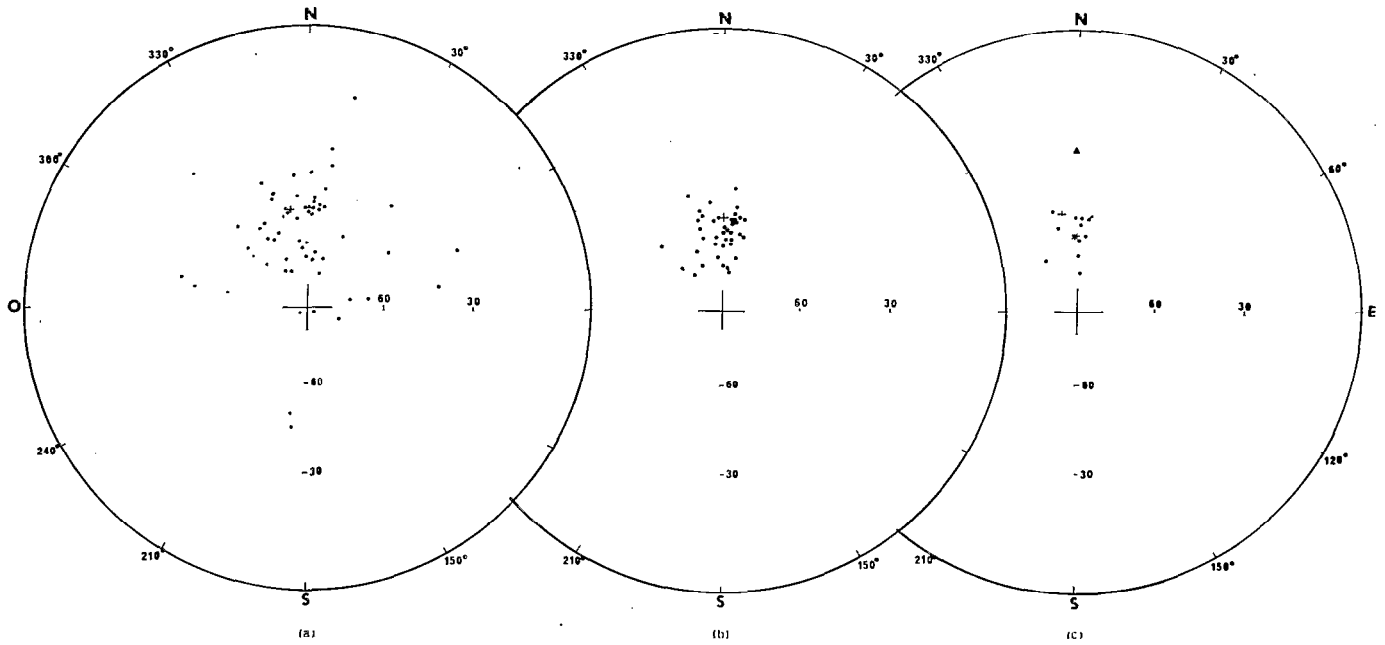


Fig. 13 – Antanimena  
 Directions des aimations  
 a - rémanentes naturelles  
 b - stables, caractéristiques des échantillons  
 c - caractéristiques des sites  
 + : Direction du champ magnétique terrestre actuel  
 \* : Direction moyenne d'aimantation de l'ensemble des sites  
 ▲ : Direction du champ polaire

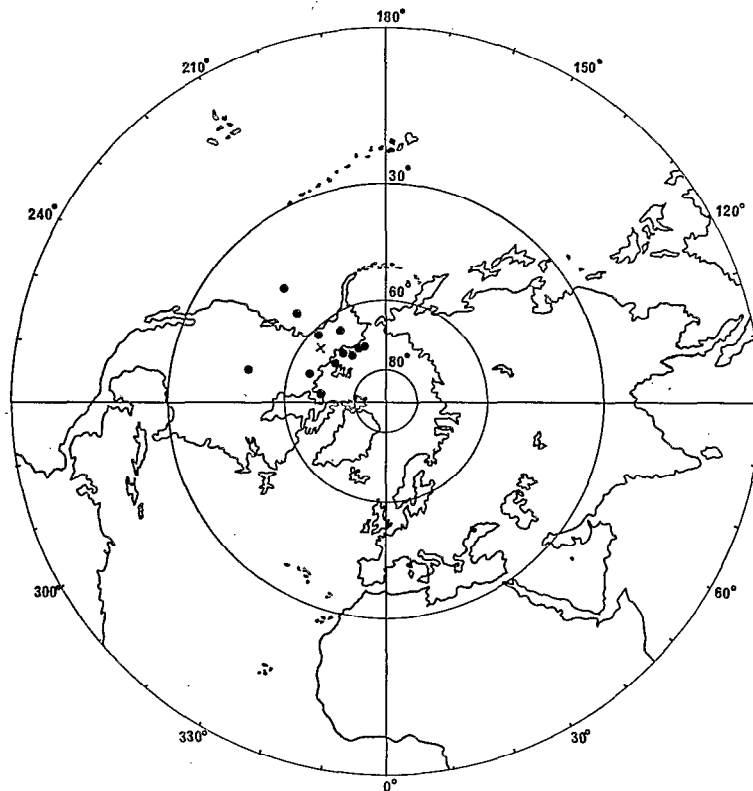


Fig. 14 – Antanimena : position des pôles virtuels  
 ● : pôle virtuel relatif à un site  
 + : position moyenne

## 6. Le paléomagnétisme du plateau basaltique de l'Antanimena

Ce plateau est constitué par une succession de coulées d'une puissance totale de l'ordre de 200 mètres. Elles se différencient uniquement par leur couleur et leur degré d'altération. Leur âge est connu avec précision ; elles reposent sur des grès cénomaniens et sont recouverts par le Turonien supérieur (BESAIRIE, 1966).

Un premier groupe de blocs orientés provient de ces coulées. Un second groupe a été prélevé dans les filons situés au sud du plateau et qui recoupe toute la série antéturonienne.

62 blocs appartenant à 13 sites différents ont été examinés. Leurs aimantations naturelles sont caractérisées par des directions dispersées. 45 blocs possèdent cependant des aimantations caractéristiques dont les directions sont bien groupées. Les directions d'aimantation relative à 12 sites ont pu être définies (Fig.13). Il n'existe pas de différence systématique entre les échantillons en provenance des coulées et ceux qui ont été prélevés dans les formations filoniennes (Tableau VI).

Toutes les aimantations ont été acquises dans le sens normal. La moyenne de leur direction doit correspondre au champ magnétique ancien ; elle a pour valeur :

$$D = 358^{\circ} \quad I = -60^{\circ}$$

avec  $N = 12$ ,  $k = 79$  et  $\alpha = 5^{\circ}$ .

La position de cette direction moyenne présente un écart angulaire de près de  $29^{\circ}$  avec celle qu'aurait un champ dipolaire géocentrique axial.

En ce qui concerne les pôles virtuels leur position moyenne est sensiblement différente du pôle géographique (Fig.14).

**Tableau VI**  
**PLATEAU DE L'ANTANIMENA**  
Directions moyennes d'aimantation et positions des pôles virtuels

SITE	$\varphi_0$	$\lambda_0$	N	D	I	$\alpha$	$\varphi'$	$\lambda'$
Ambatomainty*	$-16^{\circ}13$	$46^{\circ}38$	6	$8^{\circ}$	$-53^{\circ}$	$6^{\circ}$	$71^{\circ}$	$206^{\circ}$
Ampijoroa*	$-16^{\circ}14$	$46^{\circ}30$	5	$6^{\circ}$	$-54^{\circ}$	$2^{\circ}$	$71^{\circ}$	$211^{\circ}$
Ampondrabe*	$-16^{\circ}16$	$46^{\circ}13$	4	$358^{\circ}$	$-54^{\circ}$	$6^{\circ}$	$71^{\circ}$	$232^{\circ}$
Antanimavo*	$-16^{\circ}19$	$45^{\circ}37$	5	$346^{\circ}$	$-50^{\circ}$	$4^{\circ}$	$70^{\circ}$	$264^{\circ}$
Andrafinahoany*	$-16^{\circ}20$	$45^{\circ}52$	4	$360^{\circ}$	$-62^{\circ}$	$5^{\circ}$	$62^{\circ}$	$225^{\circ}$
Marovitsika*	$-16^{\circ}21$	$46^{\circ}01$	5	$3^{\circ}$	$-54^{\circ}$	$6^{\circ}$	$72^{\circ}$	$217^{\circ}$
Thopy-Nord*	$-16^{\circ}27$	$45^{\circ}50$	4	$2^{\circ}$	$-68^{\circ}$	$6^{\circ}$	$55^{\circ}$	$224^{\circ}$
Mahavavy	$-16^{\circ}31$	$46^{\circ}04$	3	$3^{\circ}$	$-56^{\circ}$	$4^{\circ}$	$70^{\circ}$	$220^{\circ}$
Andrafiambony	$-16^{\circ}32$	$45^{\circ}53$	3	$4^{\circ}$	$-74^{\circ}$	$2^{\circ}$	$46^{\circ}$	$223^{\circ}$
Behena	$-16^{\circ}32$	$45^{\circ}43$	4	valeurs non significatives				
Besieky	$-16^{\circ}36$	$45^{\circ}50$	9	$329^{\circ}$	$-66^{\circ}$	$7^{\circ}$	$49^{\circ}$	$257^{\circ}$
Ihopy-Sud	$-16^{\circ}38$	$45^{\circ}46$	5	$7^{\circ}$	$-60^{\circ}$	$5^{\circ}$	$65^{\circ}$	$213^{\circ}$
Ambohitramboalambo	$-16^{\circ}42$	$45^{\circ}51$	4	$347^{\circ}$	$-57^{\circ}$	$5^{\circ}$	$66^{\circ}$	$251^{\circ}$

\* sites appartenant aux coulées de basaltes

## V – DISCUSSION

L'étendue et le nombre des formations géologiques étudiées permettent de considérer les résultats obtenus comme étant suffisamment représentatifs aussi bien de l'ensemble de l'île que des périodes concernées. L'ensemble des résultats est résumé dans le Tableau VII.

Tableau VII  
Résumé des résultats paléomagnétiques relatifs aux formations considérées

RÉGION	AGE	N	D	I	K	$\alpha$	d	$\varphi'$	$\lambda'$	$\alpha'$
Côte Centre N-E	74 ± 7 MA	11	11°	- 65°	307	3°	34°	60°	212°	4°
Côte Sud-Est	73 ± 7 MA	16	7°	- 64°	81	4°	25°	66°	218°	7°
Massif de l'Androy	70 ± 7 MA	8	349°	- 66°	82	7°	25°	63°	243°	11°
Mangoky-Onilahy	87 ± 10 MA	12	350°	- 59°	39	8°	19°	70°	248°	11°
Mailaka	88 MA	12	352°	- 56°	50	7°	16°	70°	244°	9°
Antanimena	90 MA	13	358°	- 60°	79	5°	29°	65°	230°	6°

N représente le nombre de sites examinés dans chaque région

k,  $\alpha$  et  $\alpha'$  sont les paramètres de R.A. FISHER

d est la distance angulaire entre la direction du champ régional ancien et la direction d'un champ dipolaire géocentrique axial correspondant à chacune des régions.

### 1. Directions d'aimantation

L'examen des résultats appelle un certain nombre de remarques.

On note en premier lieu que toutes les formations étudiées indiquent une aimantation « normale » ; mais il ne s'agit que d'un petit nombre de moments dans le Crétacé.

La précision avec laquelle les âges des formations géologiques de la côte Est et du Sud ont été obtenus par datations radiochronologiques ainsi que l'insuffisance des données stratigraphiques dans ces régions ne permettent pas de définir s'il y a eu un ou plusieurs cycles d'éruptions dans ces secteurs. Par contre, en ce qui concerne la côte Ouest, des arguments stratigraphiques précis permettent de définir au minimum, comme cela a été déjà souligné, deux et peut-être trois périodes d'éruptions :

- l'une ayant eu lieu au Turonien moyen, c'est-à-dire vers 90 MA en se référant à l'échelle des temps publiée par la Société géologique de Londres (GEOL. SOC. LONDON, 1964) ;
- la deuxième à la limite du Turonien et du Coniacien (vers 88 MA) ;
- et la troisième, à la limite du Santonien et du Campanien (76 MA).

Ce premier résultat suggère donc qu'au moment où les formations envisagées se sont mises en place, le sens du champ magnétique terrestre aurait été identique à celui d'aujourd'hui.

La synthèse des résultats paléomagnétiques relatifs au Crétacé faite par C.E. BELSLEY et M.B. STEINER (BELSLEY and STEINER, 1969) montre que le champ terrestre aurait eu une polarité normale depuis l'Albien jusqu'au Santonien moyen et même jusqu'au Campanien, si l'on excepte la formation japonaise d'Akoh datée du Santonien moyen, la seule connue pour avoir présenté un sens inversé vers cette période.

Les résultats obtenus à Madagascar ne contredisent pas l'hypothèse d'une stabilité continue du sens normal.

On peut, en outre, tirer des résultats obtenus un fait essentiel se rapportant aux valeurs des inclinaisons. Celles-ci sont toutes très différentes de celles qu'aurait un champ dipolaire centré et axial aux différentes latitudes moyennes des formations étudiées. En effet, on trouverait des valeurs variant entre  $-40$  et  $-42^\circ$  de la latitude de l'Androy à celle du Mailaka et de l'ordre de  $-31^\circ$  à la latitude de l'Antanimena et pour la région centrale de la côte centre Nord-Est.

La distance angulaire entre la direction du champ magnétique régional ancien et celle du champ dipolaire géocentrique axial correspondant est donnée dans le Tableau VII.

## 2. Pôles virtuels

Les coordonnées des pôles géomagnétiques virtuels correspondant aux différentes régions étudiées sont également données dans le Tableau VII. Leurs positions sont indiquées sur la Figure 15.

Tous les pôles présentent des écarts significatifs avec le pôle géographique. Ils sont tous groupés dans la zone incluant l'Alaska et le Nord-Ouest du Canada, entre les latitudes  $60^\circ$  et  $70^\circ$ .

On est tenté pour tracer la trajectoire du pôle de joindre les différentes positions entre elles. Cela à première vue paraît justifié compte tenu de l'âge relatif des formations envisagées.

La trajectoire obtenue de cette façon n'est pas régulière et les pôles ne se rangent pas dans l'ordre chronologique des éruptions. L'examen détaillé de ces pôles fait cependant apparaître un certain écart entre ceux qui sont obtenus à partir des formations de la côte Ouest qui sont plus anciennes et ceux qui se rapportent aux formations plus jeunes de la côte Est. Toutefois, l'indétermination sur la position de chaque pôle ne permet pas d'interpréter ce résultat comme l'indication d'un déplacement du pôle. En outre, la dispersion des pôles par rapport à leur moyenne est du même ordre de grandeur que celle observée au Crétacé pour l'Amérique du Nord (CURRIE, C.S. GROMME and VERHOOGEN, 1963, 1967 ; GROMME and MERRIL, 1965 ; HANNA, 1967) et au Mésozoïque pour l'Afrique (McELHINNY, BRIDEN, JONES and BROCK, 1968).

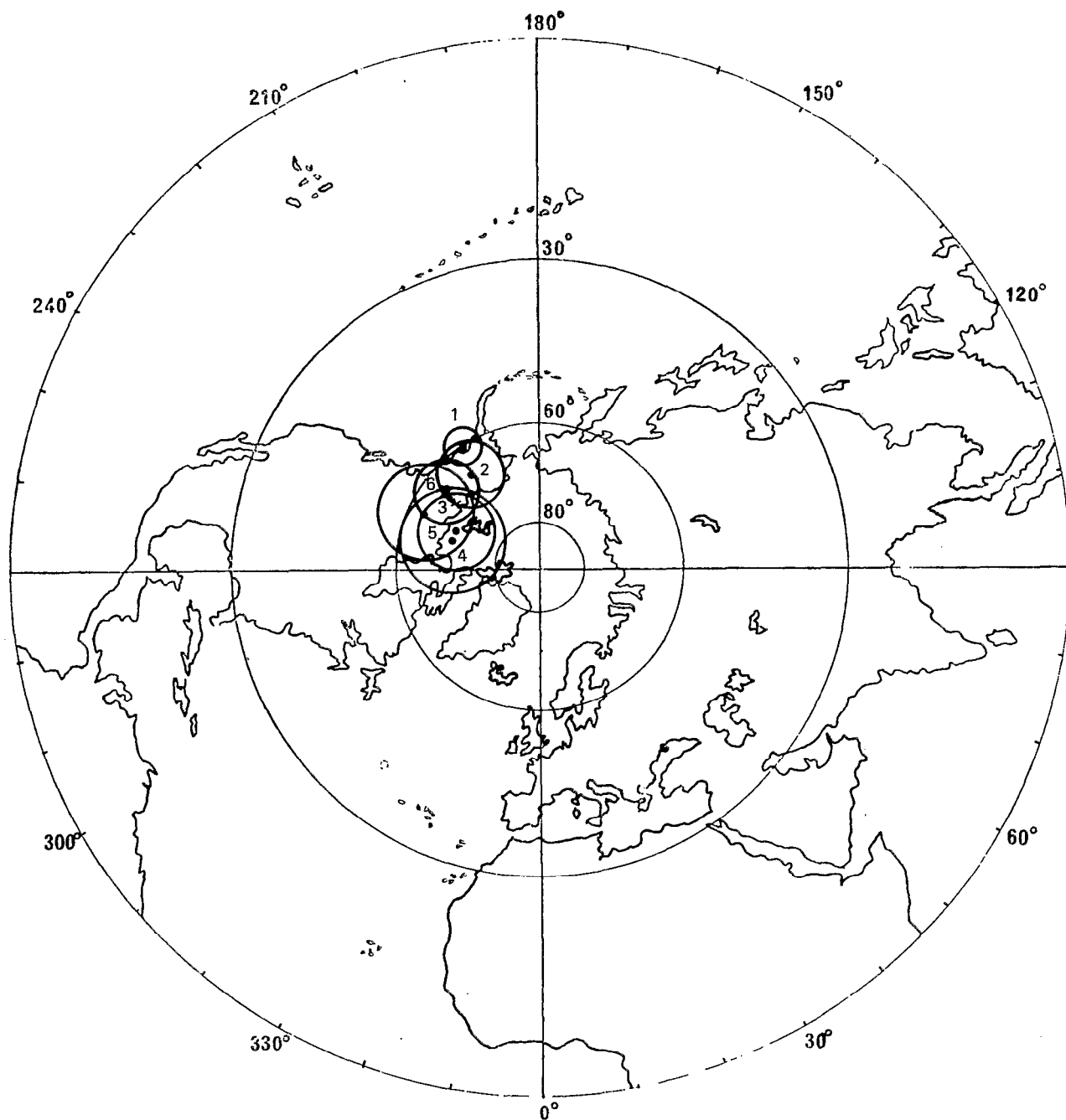


Fig. 15 – Position des pôles virtuels de Madagascar pour le Crétacé supérieur  
 + : position moyenne

1. Pôle relatif aux formations de la côte Centre Nord-Est
2. Pôle relatif aux formations de la côte Sud-Est
3. Pôle relatif au Massif volcanique de l'Androy
4. Pôle relatif aux formations du Mangoky-Onilahy
5. Pôle relatif au plateau basaltique du Mailaka
6. Pôle relatif au plateau basaltique de l'Antanimena

*Les pôles sont donnés avec leur «cercle d'erreur» respectif.*



## VI – SIGNIFICATION PALÉOMAGNÉTIQUE DES RÉSULTATS

En paléomagnétisme, on admet qu'à l'échelle des millions d'années, les irrégularités du champ magnétique terrestre ainsi que les variations séculaires doivent disparaître de sorte que le champ magnétique moyen devient celui d'un dipôle placé au centre de la Terre et dirigé suivant son axe de rotation. Les pôles géomagnétiques se trouvent donc confondus avec les pôles géographiques. Ainsi la connaissance de la direction du champ magnétique terrestre en un point permet de déterminer l'axe du dipôle correspondant, donc l'axe de la Terre, relatif à ce point.

L'écart qui existe entre les différents pôles virtuels et le pôle géographique peut donc être interprété comme concrétisant la dérive de Madagascar.

Il est possible pour chacune des positions du pôle virtuel de connaître l'ancienne latitude de Madagascar, en calculant par exemple la paléolatitue d'une ville référence comme Tananarive. La connaissance du paléoméridien de cette dernière fournit en outre une indication sur l'ancienne orientation de la Grande Ile. On pourrait ainsi suivre éventuellement sa variation en fonction du temps. Mais il faudrait pour cela que l'on soit sûr que la divagation du pôle magnétique soit négligeable pendant les intervalles de temps séparant la mise en place de chacune des formations géologiques considérées. La meilleure estimation de l'ancienne latitude paraît donc être celle que l'on calculerait en utilisant le pôle moyen, c'est-à-dire la moyenne des six pôles qui ont été déterminés. Ce pôle moyen a pour coordonnées :

Latitude  $66^\circ$  Nord      Longitude  $231^\circ$  Est avec  $\alpha = 6^\circ$ .

Cela implique pour Tananarive une latitude de  $42^\circ$  Sud soit à plus de  $20^\circ$  de sa latitude actuelle ; tandis que l'ancienne orientation de Madagascar aurait été identique à celle d'aujourd'hui.

Les résultats suggèrent donc que la Grande Ile était restée dans l'hémisphère Sud mais plus éloignée de l'équateur qu'elle n'est actuellement. Elle aurait dérivé depuis vers sa position actuelle. Si l'on suppose que le déplacement s'est fait de manière uniforme, on trouve une vitesse de l'ordre de 3 cm/an, c'est-à-dire de l'ordre de grandeur du taux d'expansion des fonds océaniques (HEIRTZLER, DICKSON, HERRON, PITMAN and LE PICHON, 1968 ; LE PICHON and HEIRTZLER, 1968 ; COULOMB, 1969).

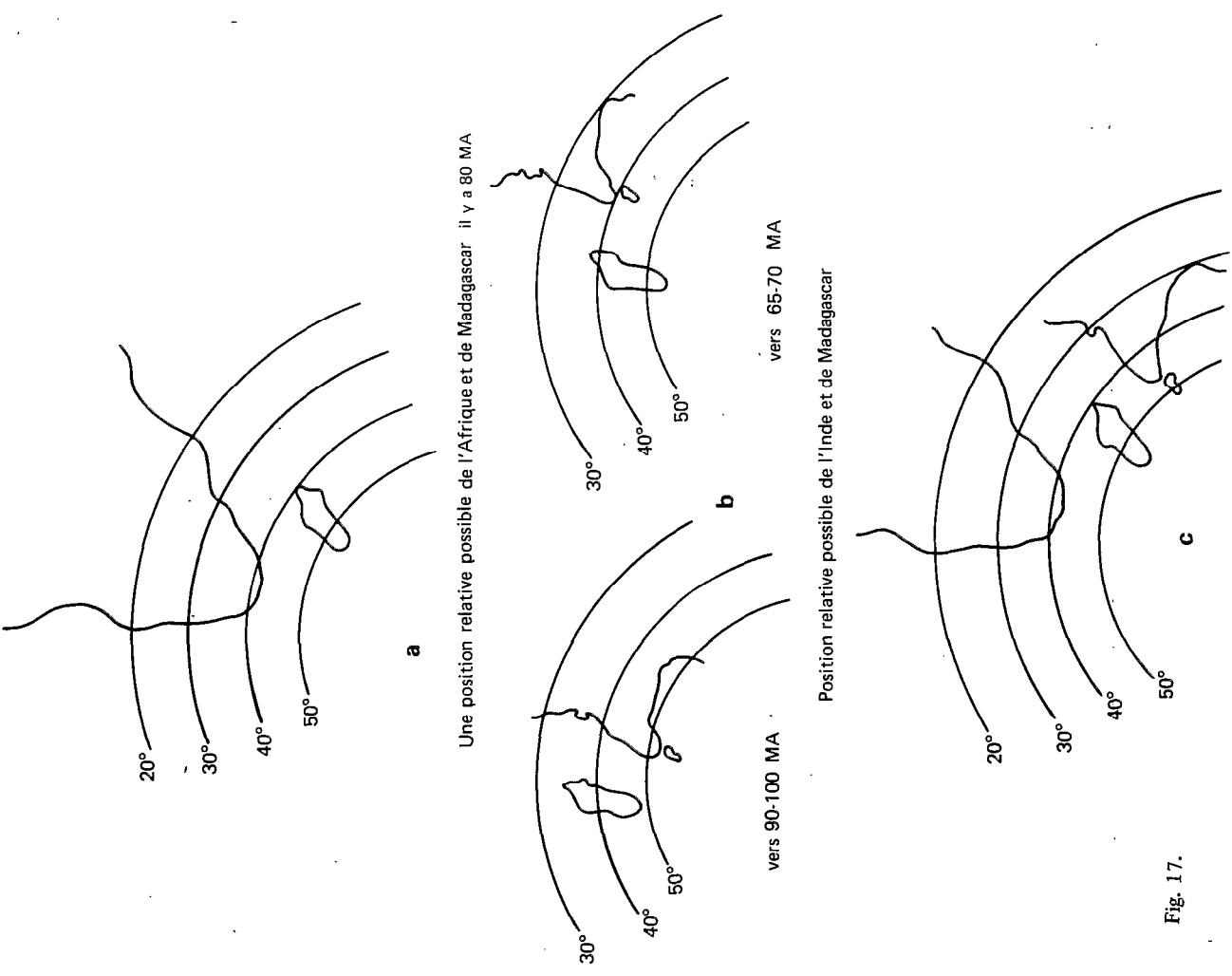
Les déplacements qu'aurait subis Madagascar ne peuvent être convenablement interprétés qu'en les comparant avec ceux qui auraient affecté les autres pays entourant l'Océan Indien.

### 1. Comparaison avec l'Afrique

L'absence de données paléomagnétiques de mêmes âges à Madagascar et en Afrique ne permet pas d'établir une comparaison directe entre ces deux blocs. Toutefois l'examen des résultats existants apporte des renseignements intéressants quant aux mouvements relatifs qui auraient pu exister entre eux.

En ce qui concerne l'Afrique, la paléolatitue de Salisbury (située actuellement à  $-18^\circ$  de latitude) aurait varié entre 106-111 MA et 69 MA, de  $-34^\circ$  à  $-20^\circ$ , d'après l'étude des pôles relatifs au Lupata (D.I. GOUGH and N.D. OPDYKE, 1963) et aux laves d'Éthiopie (M.W. McELHINNY, J.C. BRIDEN, D.L. JONES and A. BROCK, 1968). Quant à Madagascar, l'étude de la paléolatitue de Tananarive (latitude actuelle  $-19^\circ$ ) suggère l'existence entre 90 et 70 MA, d'une dérive en sens inverse, puisqu'elle aurait varié de  $-40^\circ$  à  $-45^\circ$ . Le déplacement ainsi constaté est cependant faible et est à la limite du significatif.

Le graphique de la Figure 16 illustre les variations de latitude de Salisbury et de Tananarive au cours des périodes en question. On peut estimer une position moyenne relative de l'Afrique et de



Position relative possible des trois blocs vers 80 MA

Fig. 17.

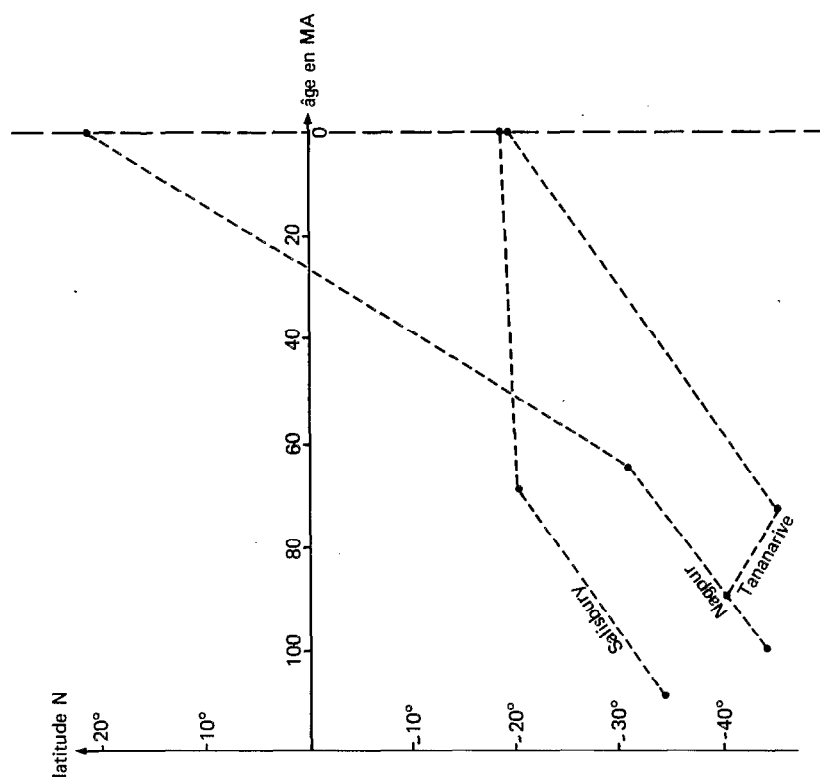


Fig. 16 – Variation de latitude de trois villes d'Afrique, de l'Inde et de Madagascar.

Madagascar, vers 80 MA d'années par exemple, en supposant les déplacements uniformes. Cette position est schématisée sur la Figure 17a. L'écart en latitude entre les deux villes considérées aurait été près de vingt fois l'écart actuel. Il convient cependant de souligner qu'une meilleure connaissance de la position relative de ces deux blocs nécessite des données plus précises en ce qui concerne l'Afrique.

Ainsi, la comparaison qui vient d'être faite suggère que Madagascar se trouvait à un moment donné du Crétacé en regard d'une partie plus méridionale qu'aujourd'hui de la côte africaine.

## 2. Comparaison avec l'Inde

Les pôles relatifs aux côtes Ouest et Est de Madagascar peuvent être utilement comparés l'un avec le pôle indien relatif à Rajmahal (100 MA), l'autre avec le pôle correspondant aux trapps du Dekkan d'âge 65 MA (CLEGG, RADARRISENAMURTY and SAHASRABUDHE, 1958 ; DEUTSCH, RADARRISENAMURTY and SAHASRABUDHE, 1959 ; McDOUGALL and McELHINNY, 1970 ; McELHINNY, 1968 ; SAHASRABUDHE, 1963 ; WELLMANN and McELHINNY, 1970.

La première comparaison fait apparaître entre Nagpur (latitude actuelle  $21^{\circ}5$ ), ville choisie comme référence pour l'Inde et Tananarive, une différence de latitude très inférieure à l'écart actuel entre ces deux villes.

Ce premier résultat suggère que l'Inde et Madagascar se trouvaient dans une même bande de latitude il y a 90-100 MA ; leur longitude relative reste cependant indéterminée.

Du point de vue orientation, les résultats de la comparaison semblent indiquer un certain parallélisme entre la côte Est de Madagascar et la côte de Malabar en Inde. Ceci n'est pas en contradiction avec les données géologiques dans ces deux pays. En effet, des analogies existent entre le socle précambrien malgache et celui de l'Inde, notamment en ce qui concerne le Dharwar, ses charnockites et gondites. Ces dernières se retrouvent dans le système du graphite malgache. L'abondance de la monazite au Travancore trouve son équivalent à Fort-Dauphin. De même, le volcanisme Crétacé de la Grande Ile, sans équivalent en Afrique, rappelle les trapps du Dekkan où l'on observe des émissions à prédominance basaltique comme à Madagascar.

La même comparaison pour la période 65-70 MA montre un accroissement de la différence de latitude entre les deux villes considérées. Cet écart semble traduire une dérive de l'Inde vers le Nord par rapport à la Grande Ile. Le parallélisme signalé précédemment a cessé d'exister.

Les variations de latitude de Nagpur sont indiquées sur la Figure 16 et une des positions relatives possibles des deux pays est représentée schématiquement sur la Figure 17b. Comme dans le cas précédent, on peut estimer une position moyenne de l'Inde vers 80 MA. Cette position est schématisée sur la Figure 17c qui représente en même temps une position relative possible de l'Afrique de l'Inde et de Madagascar vers cette époque.

## 3. Comparaison avec l'Australie

Le pôle malgache de 90 MA est différent de celui obtenu pour le Mont Dromedary en Australie, d'âge pourtant équivalent (93 MA) (IRVING, 1964 ; ROBERTSON, 1963). Ce résultat peut être interprété comme étant l'indication d'un mouvement relatif des deux pays depuis le Crétacé supérieur.

#### 4. Comparaison avec l'Antarctique

On connaît pour l'Antarctique un pôle virtuel pour la période de 96 MA ; c'est celui qui se rapporte à «l'Andean Intrusive Suite» (E. IRVING, 1964). Ce pôle est très voisin du pôle géographique actuel indiquant que ce pays aurait occupé la même position géographique depuis 96 MA.

La comparaison de ce pôle avec celui de la côte Ouest de Madagascar suggère un déplacement de ce dernier par rapport à l'Antarctique.

#### 5. Essai de corrélation géographique entre les pays du pourtour de l'Océan Indien

Les différentes comparaisons qui viennent d'être faites révèlent l'existence de dérive, les uns par rapport aux autres, des divers pays encadrant l'Océan Indien, depuis le Crétacé supérieur.

Différentes reconstitutions géographiques de ces pays ont été proposées pour le Crétacé (KING, 1962 ; AHMAD, 1961 ; McELHINNY, 1970). L'absence de données paléomagnétiques suffisantes ne permettait pas jusqu'ici de situer Madagascar de façon valable par rapport aux autres pays de cette partie de l'Océan Indien. Des divergences existent.

Les résultats obtenus dans cette étude permettent d'apporter des modifications. La reconstitution schématisée sur la Figure 18 établie d'après les valeurs contenues dans le Tableau VIII, représente une des positions relatives possibles de ces divers pays pour une partie du Crétacé supérieur. Elle est caractérisée par le fait que l'Inde et Madagascar semblent avoir occupé la même bande de latitude et par le parallélisme de leurs côtes en regard.

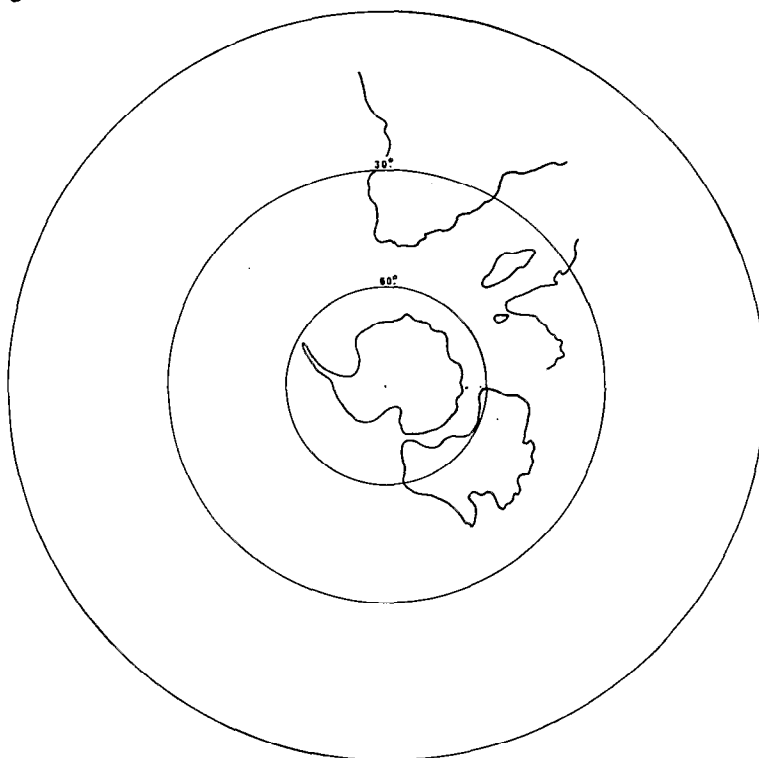


Fig.18 – Position relative des pays de la partie orientale du Gondwana vers la deuxième moitié du Crétacé (longitude arbitraire).

**Tableau VIII**  
Liste des pôles ayant servi à la reconstitution de la Figure 18

	Age en MA	Pôle virtuel		Moyenne		RÉFÉRENCE
		$\varphi'$	$\lambda'$			
<b>AFRIQUE</b>						
Mlanje	116-128	60°S	82°E	} 61°S	81°E	BRIDEN, 1967 GOUCH and OPDYKE, 1963
Lupata	106-111	62°S	79°E			
<b>INDE</b>						
Rajmahal	100	7°S	116°E	} 19°S	111°E	J.A. CLEGG, C. RADAKRISHNAMURTY and P.W. SAHASRABUDHE, 1958 I. McDOUGALL and M.W. McELHINNY, 1970 VERMA and PULLAIAH, 1967
Tirupati	Crét. sup.	28°S	107°E			
Dekkan	65	33°S	102°E			M.W. McELHINNY, 1968 P.W. SAHASRABUDHE, 1963 P. WELLMANN and M.W. McELHINNY, 1970
<b>AUSTRALIE</b>						
Cygnat Compl.	99-109	50°S	158°E	} 53°S	149°E	E. IRVING, 1964 E. IRVING, 1964 ; W.A. ROBERTSON, 1963
Mt Dromedary	93	56°S	138°E			
<b>ANTARCTIQUE</b>						
Andean Intr.	96	86°S	178°E	86°S	178°E	E. IRVING, 1964
<b>MADAGASCAR</b>						
Côte Ouest	90	68°S	60°E	} 67°S	46°E	R. ANDRIAMIRADO et A. ROCHE, 1969 (étude act.)
Côte Est	73	63°S	34°E			
Androy	70	63°S	63°E			R. ANDRIAMIRADO et A. ROCHE, ét. act.
Laves volc.	Crét. sup.	68°S	12°E			ROCHE et CATTALA, 1959

## VII — CONCLUSION

Les études entreprises à Madagascar fournissent des renseignements supplémentaires sur le champ magnétique terrestre ancien dans cette partie de l'Océan Indien. Le résultat apporte un argument de plus en faveur de l'existence au Crétacé de périodes pendant lesquelles le champ magnétique terrestre aurait eu un sens analogue à celui qu'il a actuellement.

Les résultats fournissent aussi l'indication d'une dérive importante de Madagascar vers le Nord par rapport aux pôles géographiques depuis le Crétacé et vraisemblablement aussi, d'une dérive vers le Nord par rapport à l'Afrique. Ils suggèrent en outre l'existence d'un déplacement relatif de l'Inde et de Madagascar.

En ce qui concerne en particulier ces deux derniers, compte tenu des paléolatitudes et des parentés de forme de leurs côtes en regard, une liaison aurait pu exister entre eux dans la première moitié du Crétacé supérieur. Toutefois, le Paléomagnétisme ne saurait prouver l'existence effective d'une telle liaison, mais suggère seulement sa possibilité. Par contre, les résultats semblent bien montrer que cette possibilité avait cessé d'exister dès la seconde partie du Crétacé supérieur, les deux blocs suivant alors des trajectoires indépendantes.

Les recherches paléomagnétiques sur Madagascar contribueraient ainsi à préciser le développement de la dislocation de la partie orientale du Gondwana pendant la seconde moitié du Crétacé.

## BIBLIOGRAPHIE

- AHMAD, F. - 1961 - Paleogeography of the gondwana period in Gondwanaland, with special reference to India and Australia, and its Bearing on the theory of continental drift. *Mem. Geol. Surv. India*, 90-142.
- ANDRIAMIRADO R. et ROCHE A. - 1969 - Étude paléomagnétique de formations volcaniques crétacées de Madagascar. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 269, 16-19.
- AS J.A. and ZIJDERVELD, J.D. - 1958 - Magnetic cleaning of rocks in paleomagnetic research. *Geophys. J. Roy. Astr. Soc.*, I, 308-319.
- BELSLEY C. and STEINER M.B. - 1969 - Evidence for long intervals of normal polarity during the cretaceous period. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 5, 325-332.
- BESAIRIE H. - 1966 - La géologie du bassin de Majunga à Madagascar, *Doc. Géol. Madagascar*, 172-285.
- BESAIRIE H. - 1967 - La géologie du bassin de Morondava à Madagascar, *Doc. Bur. Géol. Madagascar*, 175, 2 vol., 446 p.
- BESAIRIE H. - 1969 - Description géologique du massif ancien de Madagascar. *Doc. Bur. Géol. Madagascar*, 177, 3 vol., 256 p.
- BOULANGER J. - 1958 - Géologie et prospection de la région côtière du Sud-Est de Madagascar. *Doc. Bur. Géol. Madagascar*, 87, 104 p.
- B.R.G.M. S.G.N. - 1971 - Département laboratoire service 801, Étude M 2163.
- BRIDEN J.C. - 1967 - Recurrent continental drift of Gondwanaland, *Nature*, London, 215, 1334-1339.
- BRIDEN J.C. - 1967 - A new paleomagnetic result from the lower cretaceous of East central Africa *Geophys. J. Roy. Soc.*, 12, 375-380.
- CREER K.M. - 1964 - Paleomagnetism and DU TOIT's reconstruction of Gondwanaland. *Nature*, London, 204, 369-370.
- CREER K.M. - 1964 - A reconstruction of the continents for the upper Paleozoic from paleomagnetic date. *Nature* London, 203, 1115-1120.
- CREER K.M. - 1965 - Paleomagnetic data from the gondwanic continents. *Phil. Trans. Roy. Soc. London A*, 258, 27-40.
- CLEGG J.A., RADAKRISHNAMURTY C. and SAHASRABUDHE P.W. - 1958 - Remanent magnetism of the Rajmahal traps of northeastern India. *Nature* London, 161, 830-831.
- COULOMB J. - 1969 - L'expansion des fonds océaniques et la dérive des continents. P.U.F. France, 224 p.

- CURRIE R.G., GROMME C.S. and VERHOOGEN J. - 1963 - Remanent magnetisation of some upper cretaceous granitic plutons in the Sierra Nevada California. *J. Geophys. Res.*, 68, 2263-2279.
- DEUTSCH E.R., RADAKRISHNAMURTY D. and SAHASRABUDHE P.W. - 1959 - Paleomagnetism of the Deccan traps. *Ann. Geophys.*, 15, 39-59.
- DIETZ R.S. - 1961 - Continent and ocean basin evolution by spreading of the sea floor. *Nature*, London, 190, 854-857.
- McDOUGALL I. and McELHINNY M.W. - 1970 - The Rajmahal traps of India K-AR ages and Paleomagnetism. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 9, 371-378.
- DU TOIT A. - 1937 - *Our wandering continents*. Oliver and Boyd, Edinburgh, 336 p.
- McELHINNY M.W. - 1967 - The paleomagnetism of the southern continents. A survey and analysis. I.U.G.S. Symposium on continental drift Montevideo.
- McELHINNY M.W., BRIDEN J.C., JONES D.L. and BROCK A. - 1968 - Geological and geophysical implications of paleomagnetic results from Africa. *Rev. Geophys.*, 6, 201-238.
- McELHINNY M.W. - 1968 - The northward drift of India. Examination of recent paleomagnetic results. *Nature* London, 217, 342-344.
- McELHINNY M.W. and LUCK G.R. - 1970 - Paleomagnetism and Gondwanaland. *Science*, 168, 830-832.
- McELHINNY M.W. - 1970 - Formation of the Indian ocean. *Nature* London, 228, 977-979.
- FISHER R.A. - 1953 - Dispersion on a sphere. *Proc. Roy. Soc. London A*. 217, 295-305.
- FURON R. - 1960 - *La paléogéographie. Essai sur l'évolution des continents et des océans*. Payot, éditeur, Paris, 400 p.
- GEOL. SOC. LONDON - 1964 - *The Phanerozoic Time Scale*. A. Symposium, 458 p.
- GOUGH D.I. and OPDYKE N.D. - 1963 - The Paleomagnetism of the Lupata alkaline volcanics. *Geophys. J. Roy. Soc.*, 7, 457-468.
- GROMME C.S. and MERRIL R.T. - 1965 - Paleomagnetism of late cretaceous granitic plutons in the Sierra Nevada California, Further results. *J. Geophys. Res.*, 70, 3407-3420.
- GROMME C.S., MERRIL R.T. and VERHOOGEN J. - 1967 - Paleomagnetism of jurassic and cretaceous plutonic rocks in the Sierra Nevada, California and its significance for polar wandering and continental drift. *J. Geophys. Res.*, 72, 5661-5684.
- HANNA W.F. - 1967 - Paleomagnetism of upper cretaceous volcanic rocks of south-western Montana. *J. Geophys. Res.*, 72, 595-610.
- HEIRTZLER J.R., DICKSON G.O., HERRON E.M., PITMAN W.C. and LE PICHON X. - 1968 - Marine magnetic anomalies, geomagnetic reversals and motions of the ocean floor. *J. Geophys. Res.*, 73, 2119-2136.
- HOTTIN G. - 1967 - Étude géologique et prospection des feuilles au 1/100 000 Vohimenakely T.43, Vavatenima U.43 et Fenerive V.43. Doc. Bur. Geol. Madagascar, 126, 45 p.
- IRVING E., STOTT P.M. and WARD M.A. - 1961 - Demagnetization of igneous rocks by alternating magnetic fields. *Phil. Mag.*, 6, 225-241.

- IRVING E. - 1964 - *Paleomagnetism and its application to geological and geophysical problems*. J. Wiley & Sons, New-York, 399 p.
- KING L.C. - 1962 - *The morphology of the earth*. Hafner, New-York, 577 p.
- LE PICHON X. and HEIRTZLER J.R. - 1968 - Magnetic anomalies in the indian ocean and sea-floor spreading. *J. Geophys. Res.*, 73, 2101-2117.
- OPDYKE D.I. and McELHINNY M.W. - 1964 - The significance of paleomagnetic results from Africa. *J. Geophys. Res.*, 69, 2509-2519.
- RIMBERT F. - 1959 - Contribution à l'étude de l'action de champs alternatifs sur les aimantations rémanentes des roches. Applications géophysiques. *Rev. Inst. Fr. Pétr.* XIV-I et XIV-2, 17-54 et 123-155.
- ROBERTSON W.A. - 1963 - Paleomagnetism of some mesozoic intrusives and tuffs from eastern Australia. *J. Geophys. Res.*, 68, 2299-2312.
- ROCHE A. et CATTALA L. - 1959 - Remanent magnetism of the cretaceous basalts of Madagascar. *Nature* London, 183, 1049-1050.
- SAHASRABUDHE P.W. - 1963 - Paleomagnetism and Geology of the Deccan traps. Seminar on geophysical investigations in the peninsular shield, Osmania Univ. Hyderabad, 226-243.
- SMITH A.G. and HALLAM A. - 1970 - The fit of the southern continents. *Nature* London, 225, 139-144.
- TARLING D.E. - 1971 - Gondwanaland. Paleomagnetism and continental drift. *Nature* London, 229, 17-21.
- THELLIER E. - 1938 - Sur l'aimantation des terres cuites et ses applications géophysiques. *Ann. I.P.G.* Paris, 16, 157-302.
- THELLIER E. et RIMBERT F. - 1954 - Sur l'analyse d'aimantations fossiles par action de champs magnétiques alternatifs. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 239, 1399-1401.
- THELLIER E. - 1967 - A «big sample» spinner magnetometer, 149-154 in *Methods in Paleomagnetism*, D.W. COLLISON, K.M. CREER and S.K. RUNCORN ed. Elsevier.
- VERMA R.K. and PULLAIAH G. - 1967 - Paleomagnetism of the Tirupati sandstones from Godavary valley India. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 2, 310-316.
- VERMA R.K. and NARAIN H. - 1968 - Paleomagnetic studies of indian rocks and continental drift. *Geophys. Monogr. U.S.A.*, 12, 189-197.
- WELLMANN P. and McELHINNY N.W. - 1970 - K-Ar age of the Deccan trap India, *Nature*, London, 277.