

ETUDE PALEOMAGNETIQUE DES LAVES DE LA COTE
SUD-EST DE MADAGASCAR

(suite)

—————

L'objet de ce rapport est d'exposer les significations que l'on pourrait attribuer aux résultats des recherches sur le paléomagnétisme des formations volcaniques de la côte Sud-Est de Madagascar.

Auparavant, nous donnerons les résultats d'une deuxième étude portant sur les coulées du secteur Nord de ces formations, entre NOSY-VARIKA et MANAKARA, notamment.

I - GEOLOGIE

Sur la côte orientale de Madagascar, depuis le parallèle de Mahanoro (X = 690) jusqu'au Sud de Vangaindrano (X = 240) s'étalent de grands épanchements volcaniques d'origine fissurale, et constitués par des laves acides et basiques. Les coulées sont accompagnées de filons.

Les laves basiques sont beaucoup plus développées que les laves acides et s'étendent avec une remarquable continuité du Nord au Sud sur 450 km. Elles comprennent des sakalavites, des basaltes et des labradorites.

Au nord du Sakaleona, les coulées sont constituées de sakalavites, d'andésites et de basaltes doléritiques. Ces derniers forment la grande masse des coulées à l'Ouest.

Vers Mananjary, on observe surtout des basaltes doléritiques et des sakalavites. Plus au Sud entre le Namorona et Manakara, les basaltes sont plus ou moins doléritiques. Entre Vohipeno et Farafangana, on voit des andésites, des labradorites, des basaltes compacts ou doléritiques. Au Sud de Vangaindrano, les coulées sont surtout constituées de sakalavites doléritiques (1).

Les venues acides sont moins étendues et sont localisées principalement dans le secteur MAHANORO-MANANJARY. Plus au Sud, on ne les rencontre que très sporadiquement.

D 3
AND

...

15652

Les laves acides se rapportent à deux types : rhyolites et dacites. Il est difficile de distinguer ces roches entre elles. Les rhyolites comprennent des termes alcalins et calco-alcalins.

Les termes calco-alcalins se distinguent des dacites par les proportions d'orthose et de plagioclase. Dans les dellénites, terme moyen, les deux alcalis sont presque à égalité.

Il semble que les dacites prédominent dans la partie Nord, entre le Mangoro et le Namorona, et qu'au Sud, ce sont surtout les rhyolites qui forment la grande masse des coulées acides.

L'âge exact des émissions n'est pas connu, la seule chose certaine est qu'elles sont ante-maestrichtiennes (1) (2) (3).

Dans la partie Nord, entre le Mangoro et le Namorona ($X = 670$ et $X = 490$), la chronologie des émissions est bien établie avec une phase initiale acide et une phase postérieure basaltique. Cette superposition est bien établie par le recouvrement basaltique et par les intrusions filoniennes basiques qui recoupent les venues acides. Au Sud d'Antsenavolo, par exemple, on observe sous les basaltes, un substratum dacitique.

Dans le secteur Manakara-Farafangana ($X = 450$ et $X = 370$) on a distingué une phase inférieure basaltique, une phase médiane rhyolitique et une phase terminale basaltique.

Les coulées rhyolitiques forment un grand croissant dont la concavité est tournée vers l'océan. Les coulées basaltiques inférieures forment la bordure Ouest du croissant, tandis que les basaltes supérieurs sont localisés dans sa concavité et disposés en bandes concentriques autour d'un centre volcanique situé au large de Vohipeno (1).

II - ETUDE PALEOMAGNETIQUE

II - 1. Remarques préliminaires

Les premières recherches paléomagnétiques sur les formations volcaniques de la côte Sud-Est, ont porté exclusivement sur les coulées du secteur Manakara-Farafangana. Elles ont mis en évidence deux groupes de directions d'aimantation.

Le premier de ces groupes, caractérisé par des déclinaisons orientales, comprend uniquement les sites de prélèvement appartenant aux coulées localisées autour du parallèle de Manakara (nous les appellerons groupe de Manakara). Dans le second groupe par contre, se rangent les sites du secteur de Farafangana (groupe de Farafangana). Ce deuxième groupe est caractérisé par des déclinaisons occidentales.

Il est probable que ces groupes correspondent aux deux phases basaltiques définies dans le secteur Manakara-Farafangana.

Il était intéressant d'étendre nos recherches sur les coulées situées plus au Nord. Pour cela, nous avons prélevé de nouveaux échantillons orientés, entre les parallèles de Nosy-Varika (X = 610) et de Manakara (X = 450). Deux nouveaux sites ont été également échantillonnés entre Vohipeno (X = 415) et Farafangana (X = 370).

Contrairement à l'étude précédente, où les échantillons considérés étaient constitués exclusivement par des basaltes compacts ou doléritiques et des dolérites, nous avons examiné dans le cas présent, en plus des basaltes, des échantillons de dacites.

Au total, 33 échantillons orientés ont été étudiés. Ils ont été prélevés dans sept sites distincts parmi lesquels trois appartiennent à des coulées de dacites (fig. 1).

L'étude pétrographique d'un certain nombre de ces nouveaux basaltes effectuée en lame mince, montre que ceux-ci sont identiques avec ceux étudiés auparavant.

Quant aux dacites, ce sont des roches grises compactes avec assez nombreux phénocristaux blanchâtres ou jaunâtres de feldspaths. Au microscope, on observe une pâte microcristalline dans laquelle on reconnaît du quartz et quelques rares hornblendes vertes.

Cette seconde étude répond à un double but : d'une part, comparer l'aimantation de la partie Nord de la formation avec celle de la moitié Sud, et d'autre part comparer l'aimantation des dacites avec celle des basaltes.

II - 2. Etude de l'aimantation

Pour mettre en évidence, l'action éventuelle du champ terrestre actuelle sur les directions des aimantations rémanentes naturelles, nous avons procédé à deux mesures séparées l'une de l'autre par une période de temps de trois mois environ. Pendant ce laps de temps, les échantillons ont été orientés suivant une direction opposée à celle qu'ils avaient eue sur le terrain.

Cette expérience a montré que cinq échantillons, soit environ 15 % de la totalité des échantillons pris, se sont montrés sensibles à l'action du champ terrestre actuel. Une variation de la direction d'aimantation de plus de 5° (valeur adoptée pour les dispersions expérimentales) a été observée. Parmi ces échantillons figurent trois dacites (soit 23 % des dacites prélevées) et deux basaltes (10 % seulement des basaltes étudiés). Les dacites seraient donc un peu plus sensibles que les basaltes.

Du point de vue intensité d'aimantation, l'analyse de l'histogramme de la figure 2, indique nettement que la plupart des valeurs observées sont inférieures à $20 \cdot 10^{-4}$ uèm cgs/gramme. On remarque en outre, que les

Fig.2 Histogramme des intensités d'aimantations

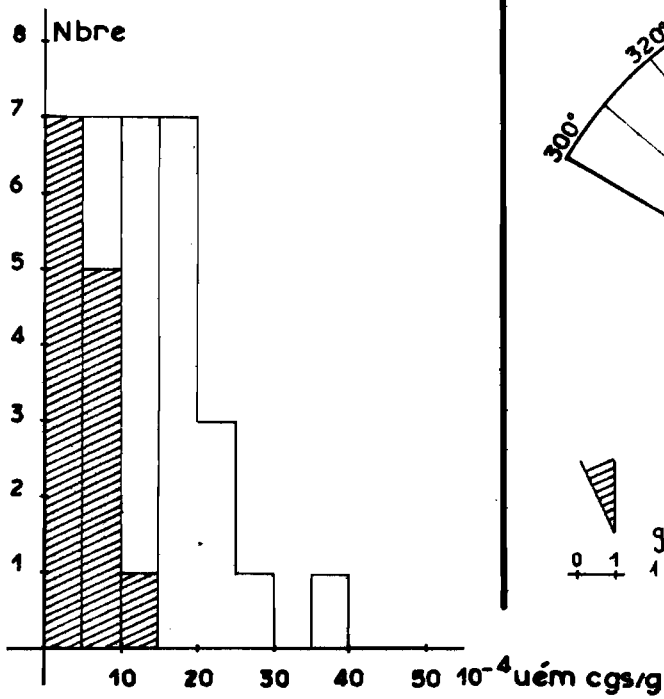


Fig.3 Répartition des déclinaisons des aimantations naturelles

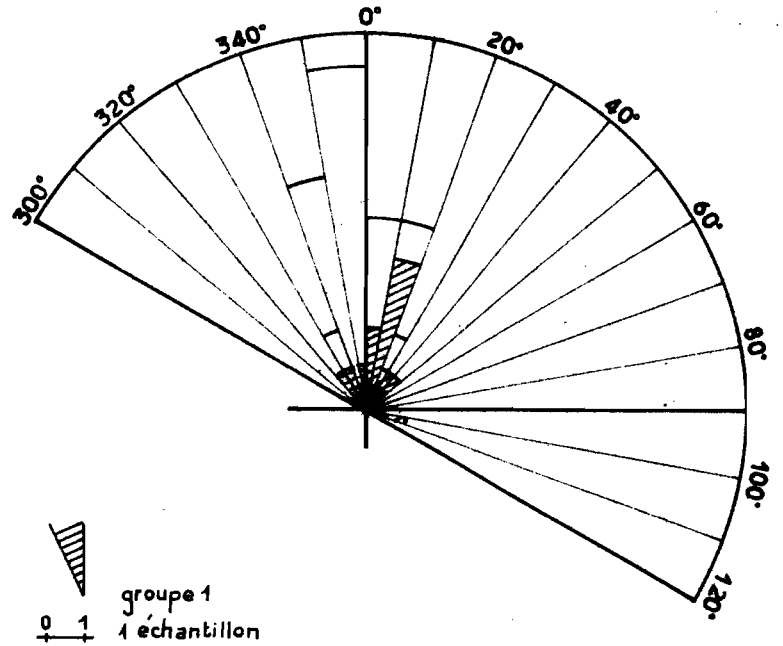


Fig.4 Répartition des inclinaisons des aimantations naturelles

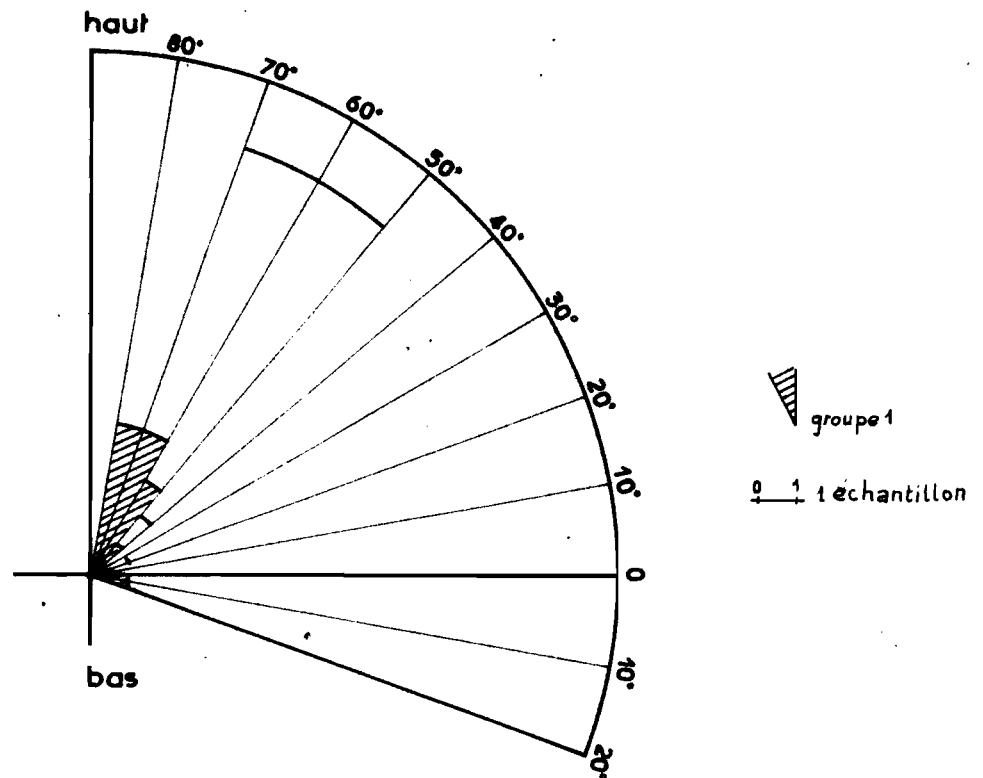


Fig.5 Types de courbes de désaimantation

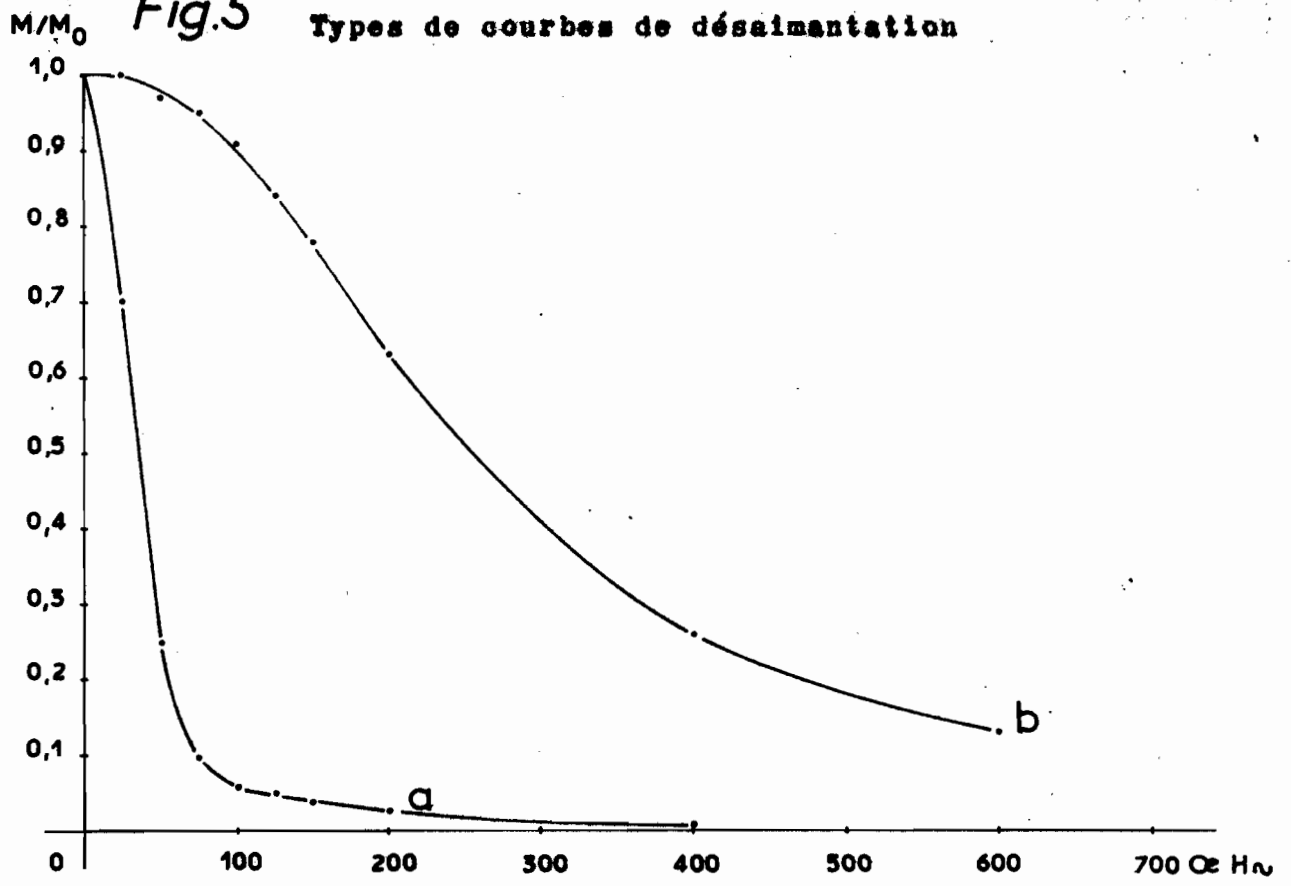
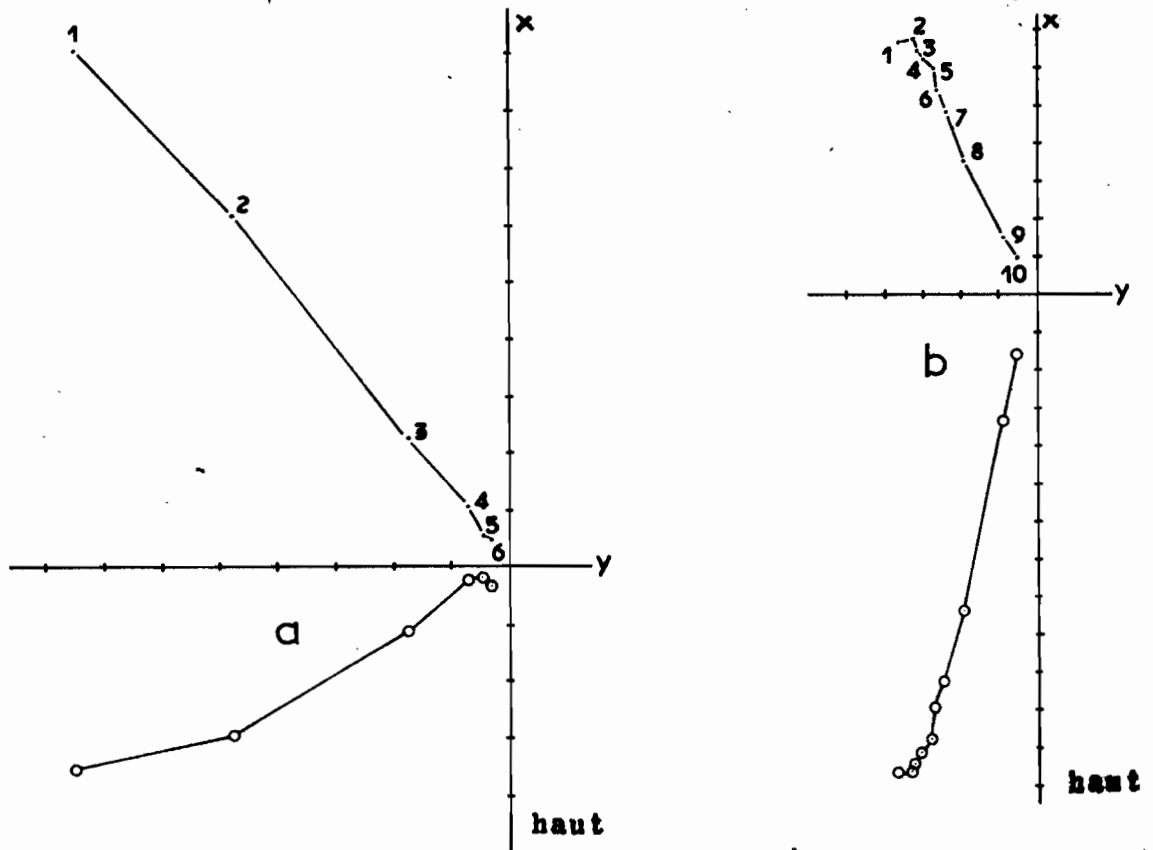


Fig.6 Types de diagrammes de désaimantation



dacites donnent des valeurs plus faibles que les basaltes, et inférieures pour la plupart à 10^{-3} uèm cgs/g. Il semble donc que les dacites sont moins aimantées que les basaltes.

En ce qui concerne ces derniers, les valeurs observées sont comparables à celles relatives aux basaltes du secteur Manakara-Parafangana. L'histogramme présenté est comparable à celui que nous avons établi au cours de la première étude (4). Ce résultat est en conformité avec l'identité pétrographique des deux séries de basaltes.

Au point de vue directions, les diagrammes des figures 3 et 4 sont également très voisins de ceux que nous avons obtenus auparavant (4). Dans le cas présent cependant, les déclinaisons orientales se rapportent surtout aux échantillons dacitiques. La figure 4 relative aux inclinaisons n'appelle aucune remarque particulière : le maximum se situe, comme dans la précédente étude, entre -50° et -70° . A noter cependant que les valeurs les plus élevées (-70° , -80°) correspondent aux dacites.

L'analyse de l'aimantation a été effectuée par le procédé habituel de désaimantation par champs alternatifs d'intensité croissante. On peut définir alors deux principaux types de courbes (fig. 5).

Dans le premier (fig. 5 a), on observe une forte pente initiale. Ces courbes révèlent des aimantations sensibles à l'action du champ alternatif. Les aimantations, ayant une loi de variation, définies par ce genre de courbe se sont avérées instables.

Le deuxième type de courbes (fig. 5 b), dont la pente initiale est nettement moins forte, caractérise des aimantations relativement "dures". On observe dans ce cas, une faible diminution initiale de l'aimantation. Dans ce second cas, l'aimantation naturelle est stable, soit dans sa totalité, soit seulement en partie. Dans le cas d'une aimantation partiellement stable, les composantes secondaires sont détruites par des champs alternatifs généralement inférieurs à 100 Oe.

La figure (6) donne une idée de l'évolution du vecteur-aimantation pendant le traitement, dans les deux cas que nous venons de définir.

Le diagramme (a) révèle une aimantation instable, sensible à l'action du champ alternatif. Le comportement d'un vecteur-aimantation stable est représenté par le diagramme (b).

Remarque : Pour chaque échantillon, les courbes de désaimantation, les diagrammes indiquant le comportement des vecteurs-aimantation, et les tableaux résumant les valeurs de D, I et M/M_0 sont donnés en annexe.

II-3. Directions moyennes d'aimantation des sites.

Nous avons considéré comme caractéristique de l'aimantation d'un site, la moyenne des directions des aimantations stables, relatives aux échantillons prélevés dans ce site. Ces aimantations stables, étant vraisemblablement d'origine thermorémanente, la moyenne de leurs directions doivent représenter la direction du champ ancien, existant au moment du refroidissement. L'application de la méthode de calcul de Fisher (5) conduit aux résultats indiqués dans le tableau ci-après.

Nous pouvons tirer un certain nombre de faits de l'examen de ce tableau.

En premier lieu, on note que l'inclinaison du champ ancien a gardé le même signe pendant toute la durée des émissions et que ce signe est conforme avec celui du champ actuel à Madagascar.

On remarque ensuite que les déclinaisons observées sont de deux sortes : orientales et occidentales.

Les dacites (sites c, e, l) sont caractérisées par les déclinaisons orientales. Les basaltes, au contraire, possèdent surtout des aimantations occidentales. Toutefois, le site k se distingue des autres sites basaltiques par sa déclinaison fortement orientale. Nous verrons par la suite que compte tenu de la situation géographique du site, ce résultat est à rapprocher avec celui que nous avons obtenu dans la région de Manakara (4).

Tableau 1

Directions moyennes d'aimantation des sites

N° et nom du site	Coordonnées du site		n	N	D	I	R	k	★
	latitude	longitude							
a Andranomanitsy (carrière)	- 20°37'	48°26'	5	5	353°	-61°	4,994	666,67	3°
b Anosiparihy (carrière)	- 21°09'	48°14'	6	6	347°	-63°	5,986	357,14	4°
c* Mananjary PK 14 (carrière)	- 21°13'	48°15'	5	4	33°	-68°	3,970	100	9°
d Mahatsinjo (Mananjary) (carrière)	- 21°15'	48°19'	4	4	357°	-61°	3,985	200	7°
e* Antsenavolo (carrière)	- 21°23'	48°03'	5	3	18°	-66°	2,971	68,97	15°
k Vohipeno (carrière)	- 22°20'	47°51'	5	3	20°	-69°	2,991	222,22	8°
l* PK 19 - (carrière) (route Farafangana-Vohipeno)	- 22°40'	47°48'	3	3	13°	-54°	2,998	1000	4°

les sites marqués (*) appartiennent à des dacites

- n = nombre d'échantillons orientés prélevés
- N = nombre d'échantillons considérés dans le calcul de la moyenne
- D, I = déclinaison et inclinaison moyennes d'aimantation
- R = résultante des vecteurs aimantation-unité
- k = $(N - 1)/(N - R)$ paramètre de précision (Fisher)
- ★ = rayon du "cercle d'erreur" à 95 %

Ces différents faits indiquent :

a) que tous les sites se sont aimantés dans le sens actuel du champ terrestre à Madagascar, comme nous l'avons déjà noté dans notre précédente étude,

b) que les dacites se distinguent nettement des basaltes par le caractère oriental de la déclinaison de leur aimantation.

II-4. Conclusion

L'étude de l'aimantation des coulées situées au Nord de Manakara, dans le secteur Nosy Varika-Mananjary, met en évidence deux groupes de directions, comme cela été observé pour le Sud. Elle montre cependant que les dacites, qui sont antérieures aux basaltes, se distinguent nettement de ces derniers par le caractère oriental de la déclinaison de leur aimantation.

On observe une seule déclinaison orientale parmi les nouveaux sites de basaltes étudiés, mais la situation géographique du site permet de le ranger avec le groupe de Manakara, caractérisé également par des déclinaisons orientales. Les autres sites, au contraire, sont caractérisés par des déclinaisons comparables à celles observées pour le groupe de Farafangana.

III - DISCUSSION SUR L'ENSEMBLE DES RESULTATS RELATIFS A LA COTE SUD-EST

L'étude des coulées de la côte Sud-Est a comporté l'examen détaillé de l'aimantation de 127 échantillons orientés. Parmi ces derniers, on compte un certain nombre de dacites (sites c, e, et l). Ces échantillons ont été prélevés dans 16 sites répartis sur près de 300 km. Deux sites seulement ont donné des valeurs dispersées non significatives, ils sont, par conséquent, exclus de l'analyse finale.

III-1. Les résultats

Nous avons résumé dans le tableau n° 2 l'ensemble des résultats que nous avons obtenus. Ces résultats concernent la direction d'aimantation de chaque site de prélèvement et la position du pôle paléomagnétique correspondant.

Un certain nombre de faits peuvent être dégagés de l'examen de ce tableau :

1) En premier lieu, on remarque que toutes les inclinaisons ont le même signe et que ce signe est conforme à celui du champ magnétique actuel à Madagascar. Leurs valeurs sont cependant, généralement supérieures à la valeur actuelle ($I_{\underline{z}} - 57^\circ$) de l'inclinaison magnétique.

Tableau 2

Directions moyennes d'aimantation de tous les sites de la côte Sud-Est
et position des pôles correspondants

		Coordonnées du site							Coordonnées du pôle			
		X	Y	n	N	D	I	R	k	α	lat.N	Long.E
a	Andranomantsy	607,9	607,9	5	5	353°	-61°	4,994	666,67	3°	68°	242°
b	Anosiparihy	550,6	586,8	6	6	347°	-63°	5,986	357,14	4°	65°	250°
c*	Mananjary PK 14	543,1	588,1	5	4	33°	-68°	3,970	100	9°	50°	196°
d	Mahatsinjo	538,1	594,7	4	4	357°	-61°	3,985	200	7°	70°	236°
e*	Antsenavolo	523,4	568,0	5	3	18°	-66°	2,971	68,97	15°	60°	204°
f	Ankazoharaka	449,6	559,7	12	9	13°	-64°	8,902	81,63	6°	64°	207°
g	PK 3,5 (Manakara-Irondro)	445,6	560,8	6	4	19°	-56°	3,987	230,77	6°	69°	183°
h	PK 8,5 (Manakara-Vohipeno)	436,8	557,2	4	4	31°	-72°	3,997	1000	3°	49°	203°
i	PK 7,5 (Manakara-Vohipeno)	436,1	558,1	7		Valeurs dispersées non significatives						
j	PK 24 (Manakara-Vohipeno)	429,2	548,9	12	10	21°	-54°	9,966	264,71	3°	68°	176°
k	Vohipeno	419,1	545,5	5	3	20°	-69°	2,991	222,22	8°	56°	207°
l*	PK 19 (Vohipeno-Farafangana)	381,5	540,6	3	3	13°	-54°	2,998	1000	4°	74°	187°
m	Farafangana	371,4	538,7	38	28	356°	-63°	27,751	108,43	3°	69°	235°
n	Lonangisa	332,2	530,2	3	2	350°	-67°	1,997	333,33	14°	63°	242°
o	PK 44 (Farafangana-Vangain-drano)	329,9	529,7	8		Valeurs dispersées non significatives						
p	Lopary	324,4	526,9	4	3	349°	-62°	2,998	1000	4°	68°	249°

2) Les déclinaisons observées peuvent se ranger en deux grands groupes. Le premier groupe se rapporte aux dacites (sites c, e, l) et aux basaltes du groupe de Manakara, c'est-à-dire, des coulées comprises entre les parallèles $X = 450$ et $X = 419$ (sites f, g, h, j, k). Ce groupe est caractérisé par des déclinaisons orientales.

Dans le second groupe, par contre, les déclinaisons ont un caractère occidental. Elles correspondent aussi bien aux sites basaltiques du Nord (groupe de Nosy Varika - Mananjary) entre les parallèles $X = 608$ et $X = 538$ (sites a, b et d), qu'aux sites du groupe de Farafangana entre $X = 370$ et $X = 325$ (sites m, n, p).

Pour la poursuite de la discussion, il est plus commode de définir la direction moyenne relative à chaque groupe de roches. Le calcul donne les résultats suivants :

a) roches dacitiques (sites c, e, l)

$$D = 20^\circ \quad I = -63^\circ \quad \text{avec } N = 3 \quad \alpha = 14^\circ$$

b) basaltes du groupe de Manakara (sites f, g, h, j, k)

$$D = 20^\circ \quad I = -63^\circ \quad \text{avec } N = 5 \quad \alpha = 8^\circ$$

c) basaltes du Nord groupe de Nosy Varika - Mananjary (sites a, b, d)

$$D = 353^\circ \quad I = -61^\circ \quad \text{avec } N = 3 \quad \alpha = 4^\circ$$

d) basaltes du groupe de Farafangana (sites m, n, p)

$$D = 352^\circ \quad I = -64^\circ \quad \text{avec } N = 3 \quad \alpha = 5^\circ$$

On constate que les directions relatives aux groupes a et b, sont d'une remarquable identité. De même, on peut confondre les directions relatives aux groupes c et d. En effet l'écart entre ces deux dernières directions (2;5) est nettement plus faible que les erreurs commises dans leur détermination.

Ces résultats sont intéressants, car ils montrent, que du point de vue aimantation, il n'y a aucune différence entre les dacites

et les basaltes du groupe de Manakara, d'une part, et entre les basaltes du groupe de Nosy Varika-Mananjary et ceux du groupe de Farafangana, d'autre part.

Il paraît alors logique de supposer que la mise en place des basaltes au Nord et au Sud s'est faite en même temps. Aucune donnée géologique actuelle ne contredit cette hypothèse.

L'identité entre les directions d'aimantation des dacites et des basaltes du groupe de Manakara, nous amène à admettre également que ces coulées sont contemporaines. Ceci constitue un fait nouveau, car si l'on a bien établi, dans le secteur de Manakara-Farafangana, l'existence d'une phase inférieure basaltique, aucune donnée géologique, à notre connaissance, ne rattache cette phase d'émission avec celle des dacites, sur lesquelles reposent les basaltes, au Nord.

D'après les directions d'aimantation des roches, on pourrait donc proposer la chronologie suivante :

- une première phase, ayant émis des dacites et des basaltes (ces derniers semblent se localiser au centre, dans le secteur de Manakara);
- une deuxième phase, au cours de laquelle se sont épanchées des laves basaltiques aussi bien au Nord qu'au Sud ; au Nord les basaltes reposent sur les dacites.

III-2. Le champ ancien

En ce qui concerne le champ ancien, si les hypothèses évoquées ci-dessus sont exactes, on peut définir une direction moyenne pour chaque phase d'émission. Pour ce faire, nous groupons ensemble, d'une part, les sites appartenant aux dacites et aux basaltes du groupe de Manakara et d'autre part, les sites relatifs aux basaltes du Nord et du Sud.

L'application de la méthode de calcul de Fisher (5) donne :

- Dacites et basaltes du groupe de Manakara

$$D = 20^\circ \quad I = -63^\circ \quad \text{avec } N = 8 \quad \alpha = 5^\circ$$

- Basaltes des groupes de Nosy Varika-Mananjary et de Farafangana
 $D = 352^\circ$ $I = -63^\circ$ avec $N = 6$ $\sigma = 2^\circ$

L'identité entre les deux inclinaisons est remarquable, par contre les déclinaisons montrent une différence très nette.

La distance entre les points représentatifs sur la sphère, de ces deux directions (elle vaut 13°) est nettement supérieure à la somme des erreurs statistiques. L'écart entre les deux directions moyennes ci-dessus serait donc significatif.

L'écart ainsi observé pourrait alors s'expliquer de deux manières :

- 1) Le champ magnétique terrestre a varié entre les deux phases d'émission
- 2) Madagascar a changé d'orientation entre les deux époques.

III-2.1. - Le champ magnétique terrestre a varié entre les deux phases d'émission.

D'après les résultats ci-dessus, la variation n'aurait intéressé que la déclinaison.

Cette hypothèse nous conduit, en outre, à admettre l'existence d'un laps de temps suffisamment long entre les deux phases volcaniques. Nous ne connaissons cependant pas, l'âge des émissions et par conséquent la période de temps qui les sépare.

Force nous est donc de procéder par comparaison, avec des formations supposées de même âge.

Une première comparaison avec les filons doléritiques actuellement datés, de la côte centre Nord-Est peut nous apporter une indication intéressante, d'autant plus que l'étude de l'aimantation de ces filons, a montré des déclinaisons à caractère oriental, comme celles des dacites et basaltes du groupe de Manakara (6).

Nous pouvons encore procéder à une comparaison avec les formations volcaniques d'âges connus de la côte Ouest. Une telle comparaison est d'autant plus intéressante, qu'elle a déjà été utilisée du point de vue géologique, pour tenter de dater les coulées de la côte Est (3).

a) Comparaison avec les données paléomagnétiques de la côte centre Nord-Est.

Pour procéder à une telle comparaison, il est utile de calculer la position des pôles géomagnétiques virtuels moyens correspondant aux deux groupes de directions définis plus haut.

Auparavant, nous avons calculé pour chacun des 14 sites retenus pour la discussion finale, la position du pôle géomagnétique virtuel. Les résultats sont indiqués dans le tableau 2.

En groupant ensuite, les sites supposés appartenant à des coulées de même âge, nous avons défini la position du pôle correspondant aux deux époques d'émissions. Les résultats sont indiqués ci-dessous.

Tableau 3

Positions des pôles paléomagnétiques relatifs aux différentes formations volcaniques de la côte Est

Formations géologiques	Lat.	Long.	α	E
(1) Filons doléritiques de la côte centre Nord-Est	59;3 N	211;3 E	4°	
(2) Dacites et basaltes du groupe de Manakara (côte Sud-Est)	61;5 N	197;2 E	7°	7°
(3) Basaltes des groupes de Nosy Varika et de Farafangana	67;1 N	242;6 E	3°	16°

La distance entre les deux pôles (2 et 3) est approximativement de 20°, soit près du double de la somme des erreurs statistiques. Il existe donc, comme dans le cas des directions, un écart significatif entre ces deux pôles, qui sont, il convient de le noter, nettement distincts du pôle actuel.

Nous avons indiqué sur le même tableau, la position du pôle relatif aux filons doléritiques de la côte centre Nord-Est (pôle 1). Nous avons

également calculé la distance entre les pôles relatifs à la côte Sud-Est avec celui correspondant aux filons doléritiques. Ces distances sont indiquées sous la colonne E du tableau 3 ci-dessus.

La comparaison avec les valeurs des erreurs statistiques conduit aux faits suivants :

- Il ne semble pas exister un écart significatif entre le pôle relatif aux filons doléritiques de la côte Centre Nord-Est (pôle 1) et celui des dacites et basaltes du groupes de Manakara de la côte Sud-Est (pôle 2).

- Par contre le pôle qui se rapporte aux basaltes de Nosy Varika et Farafangana (pôle 3) est statistiquement différent de celui calculé pour les filons doléritiques de la côte Centre Nord-Est (pôle 1).

On peut donc tirer de cette première comparaison un résultat intéressant, à savoir :

Les dacites et les basaltes du groupe de Manakara donnent un pôle équivalent avec celui des filons doléritiques de la côte Centre Nord-Est. Ces diverses formations pourraient donc avoir le même âge c'est-à-dire crétacé inférieur (8).

Il faut cependant souligner que seule une datation radiogénique pourra déterminer avec précision l'âge des dacites et des basaltes envisagés.

b) Comparaison avec les données paléomagnétiques de la côte Ouest

Nous avons signalé plus haut, qu'une tentative de datation des coulées de la côte Sud-Est a été effectuée, par comparaison avec les formations volcaniques connues de la côte Ouest.

Nous pouvons faire la même tentative, en comparant entre elles, les données paléomagnétiques relatives à ces différentes formations, en nous limitant toutefois, pour la côte Sud-Est, aux coulées du groupe de Nosy Varika et de Farafangana.

Pour cela, nous avons comparé les différents pôles, deux à deux. Sous la colonne E du tableau 4 ci-dessous, sont indiquées les distances entre le pôle de la côte Sud-Est (pôle 1) avec les différents pôles relatifs aux coulées de la côte Ouest (pôles 2-3-4).

Tableau 4

Positions des pôles paléomagnétiques relatifs aux formations volcaniques de la côte Ouest et de la côte Sud-Est.

Formations géologiques	Latitude	Longitude	δ	E
(1) Groupes de Nosy-Varika et de Farafangana (côte Sud-Est)	67°1 N	242°6 E	3°	
(2) Coulées du Mangoky-Onilahy (côte Sud-Ouest)	74°2 N	244°7 E	10°	7°
(3) Coulées du Mailaka (côte centre Nord-Ouest)	70°7 N	243°6 E	12°	4°
(4) Coulées et filons de l'Antanimena (côte Nord-Ouest)	66°4 N	221°5 E	6°	9°

Bien qu'aucun renseignement à caractère absolu ne puisse être obtenu de la comparaison entre les valeurs des écarts (colonne E) et celles des erreurs statistiques. Un certain nombre de remarques intéressantes peuvent néanmoins, en être tirées.

On note par exemple, qu'il n'y a pas un écart significatif entre le pôle 1 et chacun des trois autres pôles. Le plus petit écart est observé entre les pôles 1 et 3, et le plus grand entre 1 et 4. A noter d'ailleurs qu'entre 1 et 4 l'écart est identique à la somme des erreurs commises dans la détermination des pôles correspondants.

D'après cette dernière comparaison, on peut donc supposer que les coulées du secteur de Nosy Varika-Mananjary, ainsi que celles du groupe de Farafangana, ont approximativement le même âge que les formations volcaniques de la côte Ouest.

La comparaison des données paléomagnétiques entre la côte Est et la côte Ouest conduit donc, tout au moins en ce qui concerne les coulées de Nosy Varika et de Furafangana, à la même conclusion que la comparaison géologique entre ces deux pôles.

Par conséquent, sur la côte Est, certaines coulées sont probablement d'âge crétacé supérieur, comme celles de la côte Ouest.

Un fait nouveau, est cependant à noter : c'est la présence sur la côte Sud-Est de coulées qui pourraient être d'âge crétacé inférieur.

En ce qui concerne le champ magnétique ancien, il apparaît ainsi que le laps de temps séparant les deux phases d'émissions que nous venons de définir sur la côte Sud-Est, est suffisamment long pour qu'il y ait eu une variation sensible de la direction de ce champ entre les deux périodes.

L'hypothèse envisagée pourrait donc expliquer l'écart entre les deux directions d'aimantation que nous avons déterminées.

III-2.2. - Madagascar a changé d'orientation entre les deux phases volcaniques

Nous avons vu que les pôles géomagnétiques virtuels moyens que nous avons obtenus, sont nettement décalés par rapport au pôle Nord géographique actuel. Ce fait nous conduit à supposer que Madagascar avait eu une position différente de celle qu'il occupe actuellement.

Si l'on se donne une sphère, pour représenter la terre au moment où ces roches se sont mises en place, les anciens pôles Nord géographiques, dans l'hypothèse du dipôle géocentrique axial, coïncident avec les pôles paléomagnétiques que nous avons définis. Il est donc possible de calculer l'ancienne latitude, ou paléo-latitude, d'une ville référence, Tananarive par exemple. Il est également possible, en prenant comme méridien repère, le méridien actuel de Tananarive, d'évaluer la variation éventuelle de l'orientation de Madagascar. L'amplitude d'une telle variation sera représentée par l'angle (ψ) que fait le méridien actuel de Tananarive avec son paléo-méridien.

Les calculs ont donné les résultats suivants :

- à l'époque de mise en place des dacites et basaltes du groupe de Manakara

paléolatitute de Tananarive = 42°4 S

$$\psi = 19^\circ$$

- à l'époque de mise en place des basaltes du Nord et du Sud

paléolatitute de Tananarive = 41°7 S

$$\psi = -3^\circ$$

Ces résultats sont instructifs. En effet ils montrent qu'entre les deux périodes volcaniques, Madagascar n'a pas bougé, mais par contre a changé d'orientation, de façon sensible.

Il est évident qu'une rotation de cette amplitude, nécessite un laps de temps important. Nous avons vu, qu'il pourrait réellement exister une longue période de temps, entre les deux phases volcaniques.

Les deux hypothèses que nous avons formulées peuvent donc expliquer les résultats observés. Il n'est pas aisé de choisir entre les deux. Il est d'ailleurs vraisemblable qu'il y ait eu à la fois, variation du champ terrestre et changement d'orientation de Madagascar.

III-3. Conclusion

L'étude de l'aimantation des coulées de la côte Sud-Est de Madagascar a permis de dégager un certain nombre de faits intéressants.

Du point de vue aimantation proprement dite, l'étude a mis en évidence deux groupes distincts de directions qui doivent être rapportés à deux phases volcaniques différentes.

Par comparaison avec d'autres données paléomagnétiques, il a été possible d'obtenir quelques indications sur les âges des émissions de la côte Sud-Est. Ces âges seraient : crétacé inférieur et crétacé supérieur.

Notre étude a également montré que la première phase basaltique dont l'existence a été établie par la géologie, dans le secteur Manakara-Farafangana pourrait être contemporaine des laves dacitiques.

Aux deux directions ainsi mises en évidence, correspondent deux positions différentes du pôle ancien. Elles sont nettement décalées par rapport à la position du pôle actuel. Ce fait suggère que Madagascar avait occupé au moment de la mise en place des formations envisagées, une position différente de sa position actuelle. L'ancienne position de Tananarive aurait été d'environ 42° de latitude Sud, soit à plus de 20° de sa latitude actuelle.

Un autre fait important qui ressort de cette étude est la stabilité de la position (en latitude) de Madagascar entre les deux périodes volcaniques. L'écart entre les deux pôles anciens serait donc dû à un déplacement du pôle, accompagné d'un changement d'orientation de la grande île sans dérive de celle-ci.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) H. BESAIRIE : Description géomorphologique du massif ancien de Madagascar.
Doc. du Bur. Géol. n° 117-b, 1969, Tananarive.
- (2) H. BESAIRIE et al. : Le volcanisme à Madagascar.
T.B.G. n° 83, 1957.
- (3) H. BESAIRIE et M. COLLIGNON : Lexique stratigraphique international.
Vol. IV, fasc. XI. Congrès géol. international, C.N.R.S.
Paris.
- (4) R. ANDRIAMIRADO : Etude de l'aimantation des laves de la côte Sud-Est de Madagascar.
Rapport mult., 1970.
- (5) F.R.S. FISHER : Dispersion on a sphere.
Proc. Roy. Soc. London, A.297, 1953
- (6) R. ANDRIAMIRADO : Etude de l'aimantation des filons diabasiques de la côte Centre Nord-Est.
Rapport mult., Mars 1970.
- (7) R. ANDRIAMIRADO et A. ROCHE : Etude paléomagnétique de formations volcaniques crétacées de Madagascar.
C.R. Acad. Sc. Paris, t. 269, p. 16-19.
- (8) B.R.G.M. - Etude M. 2163. Département Laboratoire d'analyses isotopiques.

A N N E X E

Site a : ANDRANOMANITSY

Variation des directions et intensités d'aimantation pendant la désaimantation

Ech.	H Oe	0 (1)	25 (2)	50 (3)	75 (4)	100 (5)	125 (6)	150 (7)	200 (8)	400 (9)	600 (10)
C-115 ₁	D	323°	339°	342°	346°	345°	347°	350°	347°		
	I	-69°	-59°	-61°	-63°	-64°	-63°	-66°	-63°		
	M/Mo	1	0,95	0,76	0,64	0,47	0,41	0,34	0,24		
C-116 ₂	D	353°	354°	355°	355°	355°	356°	356°	358°		
	I	-57°	-55°	-57°	-58°	-59°	-60°	-61°	-55°		
	M/Mo	1	0,98	0,85	0,73	0,62	0,56	0,49	0,29		
C-117 ₁	D	352°	357°	356°	356°	347°	348°	358°	358°		354°
	I	-60°	-59°	-62°	-61°	-67°	-66°	-64°	-66°		-54°
	M/Mo	1	0,95	0,80	0,66	0,58	0,48	0,41	0,28		0,08
C-118	D	355°	356°	358°	357°	357°	358°	358°	357°	354°	360°
	I	-61°	-60°	-61°	-61°	-62°	-63°	-64°	-66°	-73°	-63°
	M/Mo	1	0,99	0,95	0,91	0,86	0,81	0,71	0,58	0,28	0,11
C-119 ₁	D	348°	350°	353°	354°	355°	357°	353°	350°	353°	
	I	-59°	-59°	-62°	-62°	-63°	-63°	-65°	-65°	-64°	
	M/Mo	1	0,93	0,71	0,57	0,46	0,43	0,34	0,24	0,05	

Site b : ANOSIPARIHY

Variation des directions et intensités d'aimantation pendant la désaimantation

Ech.	H Oe	0 (1)	25 (2)	50 (3)	75 (4)	100 (5)	125 (6)	150 (7)	200 (8)	400 (9)	600 (10)
C-120 ₁	D	349°	349°	351°	351°	353°	350°	350°	352°	346°	
	I	-63°	-62°	-63°	-65°	-67°	-71°	-75°	-72°	-69°	
	M/Mo	1	0,99	0,96	0,86	0,75	0,63	0,44	0,17	0,08	
C-121 ₁	D	354°	358°	355°	356°	353°	358°	358°	360°		
	I	-62°	-62°	-63°	-63°	-65°	-67°	-69°	-71°		
	M/Mo	1	0,99	0,95	0,90	0,81	0,72	0,62	0,39		
C-122 ₁	D	336°	339°	339°	336°	334°	336°	339°	330°		342°
	I	-63°	-62°	-64°	-66°	-68°	-70°	-71°	-71°		-69°
	M/Mo	1	0,98	0,88	0,73	0,60	0,44	0,36	0,23		0,02
C-123 ₁	D	352°	352°	352°	353°	352°	349°	350°	347°		343°
	I	-59°	-59°	-60°	-62°	-65°	-67°	-67°	-68°		-72°
	M/Mo	1	1	0,95	0,82	0,66	0,50	0,43	0,28		0,03
C-124 ₁	D	351°	351°	351°	351°	353°	349°	351°	349°	345°	354°
	I	-55°	-55°	-55°	-57°	-60°	-61°	-61°	-61°	-62°	-66°
	M/Mo	1	0,98	0,94	0,85	0,67	0,60	0,48	0,37	0,10	0,05
C-125 ₁	D	342°	343°	340°	343°	346°	348°	342°	336°	339°	
	I	-61°	-61°	-62°	-63°	-65°	-67°	-71°	-70°	-67°	
	M/Mo	1	0,99	0,95	0,87	0,79	0,66	0,53	0,32	0,02	

Site c* : MANANJARY (Carrière PK 14)

Variation des directions et intensités d'aimantation pendant la désaimantation

Ech.	H Oe	0 (1)	25 (2)	50 (3)	75 (4)	100 (5)	125 (6)	150 (7)	200 (8)	400 (9)	600 (10)
C-126 ₁	D	13°	14°	16°	19°	20°	22°	20°	23°	18°	
	I	-68°	-64°	-62°	-64°	-68°	-67°	-68°	-63°	-67°	
	M/Mo	1	0,92	0,67	0,59	0,51	0,40	0,38	0,23	0,07	
C-127	D	18°	22°	23°	17°	20°	13°	16°	15°	11°	
	I	-71°	-66°	-67°	-67°	-70°	-74°	-71°	-69°	-69°	
	M/Mo	1	0,90	0,77	0,65	0,51	0,50	0,42	0,31	0,17	
C-128	D	47°	57°	59°	56°	52°	55°	60°	58°	55°	60°
	I	-70°	-67°	-68°	-68°	-69°	-69°	-70°	-69°	-69°	-67°
	M/Mo	1	0,92	0,85	0,77	0,70	0,62	0,53	0,44	0,29	0,22
C-129 ₁	D	31°	32°	35°	38°	40°	43°	46°	43°	47°	
	I	-48°	-55°	-62°	-65°	-68°	-69°	-70°	-71°	-70°	
	M/Mo	1	0,85	0,72	0,62	0,52	0,43	0,37	0,24	0,09	
C-130	D	340°	2°	2°	12°	7°	357°	5°	9°		
	I	-70°	-65°	-67°	-67°	-69°	-79°	-71°	-68°		
	M/Mo	1	0,86	0,76	0,75	0,49	0,42	0,34	0,22		

Site d : Carrière MAHATSINJO près MANANJARY

Variation des directions et intensités d'aimantation pendant la désaimantation

Ech.	H Oe	0 (1)	25 (2)	50 (3)	75 (4)	100 (5)	125 (6)	150 (7)	200 (8)	400 (9)	600 (10)
C-131 ₁	D	358°	356°	356°	357°	355°	356°	355°	356°	358°	357°
	I	-57°	-57°	-58°	-60°	-61°	-62°	-65°	-65°	-65°	-66°
	M/Mo	1	0,97	0,91	0,82	0,74	0,66	0,57	0,41	0,13	0,12
C-132 ₁	D	342°	345°	345°	345°	346°	344°	345°	347°	349°	345°
	I	-60°	-60°	-60°	-60°	-61°	-62°	-62°	-65°	-65°	-62°
	M/Mo	1	0,99	0,99	0,98	0,95	0,91	0,85	0,67	0,20	0,08
C-133	D	357°	359°	359°	358°	360°	358°	358°	357°	356°	355°
	I	-59°	-59°	-60°	-60°	-61°	-61°	-62°	-64°	-64°	-58°
	M/Mo	1	1	0,97	0,95	0,91	0,84	0,78	0,63	0,26	0,13
C-134	D	3°	7°	9°	11°	9°	9°	12°	4°	2°	2°
	I	-56°	-57°	-59°	-60°	-62°	-64°	-58°	-65°	-66°	-57°
	M/Mo	1	0,97	0,91	0,84	0,75	0,64	0,47	0,34	0,14	0,07

Site e* : ANTSENAVOLO (Carrière)

Variation des directions et intensités d'aimantation pendant la désaimantation

Ech.	H Oe	0 (1)	25 (2)	50 (3)	75 (4)	100 (5)	125 (6)	150 (7)	200 (8)	400 (9)	600 (10)
C-135 ₁	D	110°	111°	65°	40°	41°	41°	39°	47°		
	I	- 5°	- 5°	-53°	-65°	-69°	-70°	-69°	-65°		
	M/Mo	1	0,71	0,47	0,49	0,45	0,42	0,36	0,19		
C-136	D	324°	336°	360°	344°	344°	346°	360°	347°	343°	346°
	I	-70°	-74°	-72°	-73°	-72°	-73°	-72°	-73°	-72°	-75°
	M/Mo	1	0,96	0,81	0,72	0,58	0,50	0,40	0,28	0,20	0,13
C-137 ₁	D	358°	11°	4°	8°	12°	8°	11°	5°	11°	
	I	-73°	-68°	-69°	-69°	-69°	-70°	-72°	-71°	-69°	
	M/Mo	1	0,87	0,73	0,60	0,47	0,34	0,31	0,22	0,09	
C-138	D	354°	356°	352°	352°	360°	358°	355°	1°		
	I	-63°	-62°	-64°	-65°	-64°	-66°	-68°	-66°		
	M/Mo	1	0,91	0,76	0,64	0,48	0,39	0,26	0,14		
C-139	D	16°	15°	14°	13°	11°	13°	12°	12°	5°	13°
	I	-23°	-25°	-29°	-31°	-34°	-33°	-33°	-36°	-45°	-54°
	M/Mo	1	0,88	0,77	0,70	0,65	0,60	0,59	0,53	0,31	0,20

Site k : Carrière PK 40 près VOHIPENO

Variation des directions et intensités d'aimantation pendant la désaimantation

Ech.	H Oe	0 (1)	25 (2)	50 (3)	75 (4)	100 (5)	125 (6)	150 (7)	200 (8)	400 (9)
C-140	D	5°	9°	3°	5°	13°	27°	32°	42°	
	I	-62°	-63°	-66°	-71°	-75°	-75°	-76°	-75°	
	M/Mo	1	0,92	0,79	0,57	0,35	0,27	0,17	0,11	
C-141	D	349°	356°	353°	353°	11°	12°	13°	16°	
	I	-72°	-71°	-73°	-74°	-74°	-74°	-74°	-73°	
	M/Mo	1	0,91	0,73	0,61	0,47	0,43	0,35	0,27	
C-142 ₁	D	35°	30°	27°	26°	33°	25°	27°	23°	22°
	I	-39°	-48°	-59°	-65°	-67°	-68°	-68°	-69°	-67°
	M/Mo	1	0,87	0,74	0,61	0,50	0,44	0,38	0,29	0,13
C-143	D	16°	14°	14°	16°	18°	16°	15°	12°	12°
	I	17°	+21°	-21°	-12°	-21°	-34°	-45°	-47°	-53°
	M/Mo	1	0,70	0,25	0,10	0,06	0,05	0,04	0,03	0,01
C-144 ₁	D	15°	17°	17°	19°	11°	17°	5°	20°	
	I	-54°	-61°	-67°	-70°	-71°	-73°	-72°	-71°	
	M/Mo	1	0,89	0,69	0,53	0,39	0,32	0,23	0,18	

Site 1* : Carrière du PK 19 près FARAFANGANA

Variation des directions et intensités d'aimantation pendant la désaimantation

Ech.	H Oe	0 (1)	25 (2)	50 (3)	75 (4)	100 (5)	125 (6)	150 (7)	200 (8)	400 (9)	600 (10)
C-145	D	12°	14°	15°	15°	14°	14°	14°	16°	14°	
	I	-53°	-52°	-52°	-52°	-52°	-52°	-53°	-54°	-55°	
	M/Mo	1	0,99	0,97	0,95	0,92	0,90	0,85	0,78	0,46	
C-146	D	8°	10°	9°	9°	11°	13°	14°	16°	10°	14°
	I	-56°	-55°	-54°	-54°	-54°	-55°	-55°	-56°	-57°	-61°
	M/Mo	1	0,94	0,89	0,89	0,84	0,84	0,81	0,77	0,53	0,35
C-147	D	25°	16°	13°	13°	14°		13°	14°	15°	
	I	-54°	-55°	-55°	-56°	-56°		-57°	-59°	-58°	
	M/Mo	1	0,95	0,92	0,89	0,87		0,80	0,73	0,41	

Site. a **ANDRANOMANITSY**

VARIATION DES A R N PENDANT LA DESAIMANTATION

Fig.1

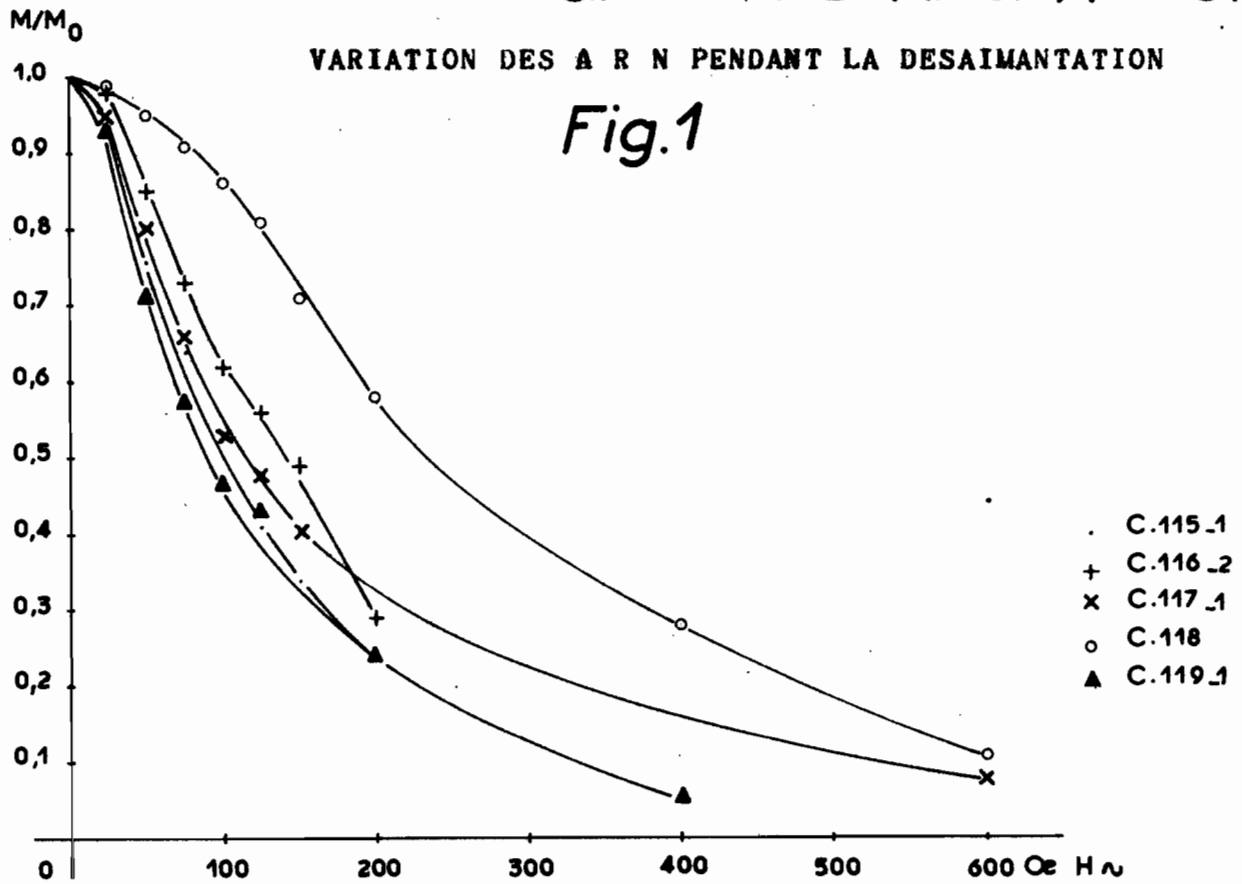


Fig. 2

VARIATION DES DIRECTIONS D'AIMANTATION

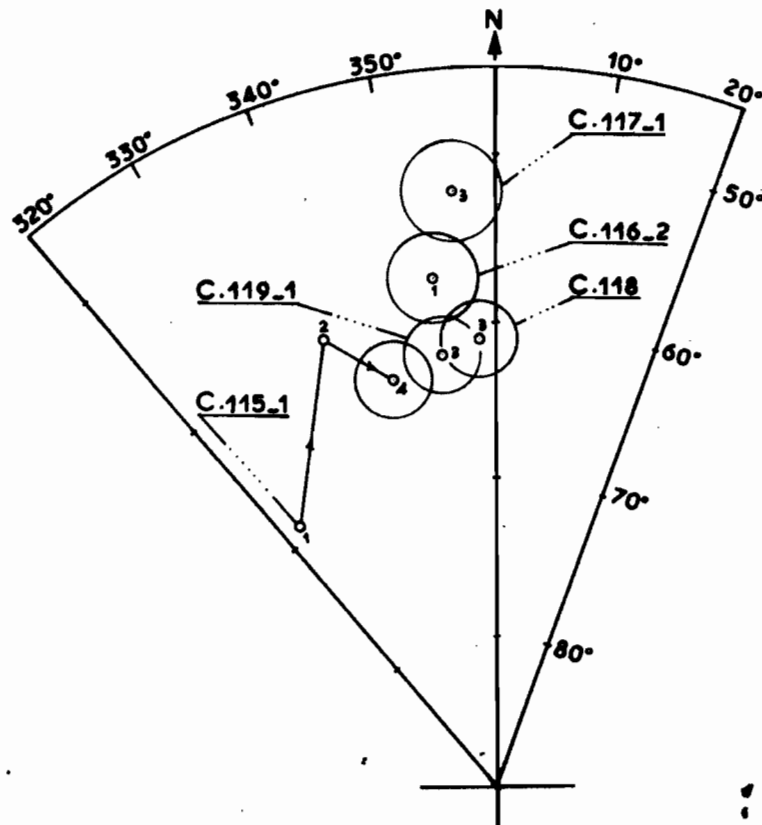
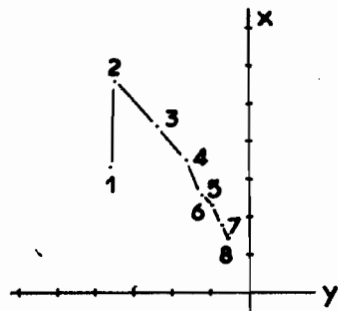


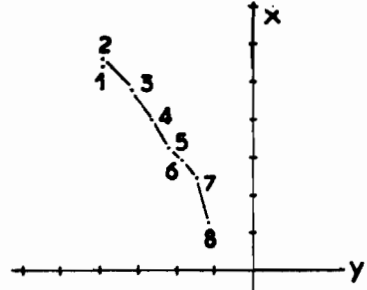
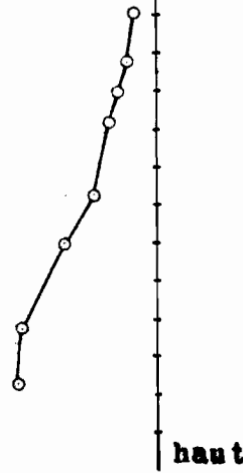
Fig.3

DIAGRAMMES DE DESAIMANTATION

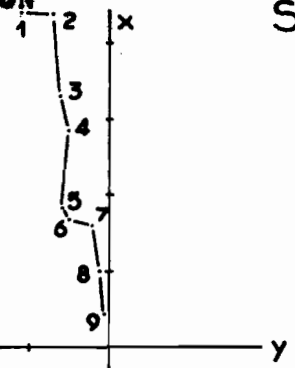
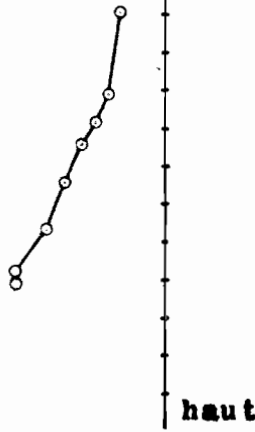
Site. a



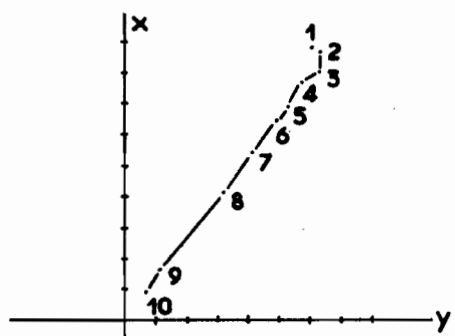
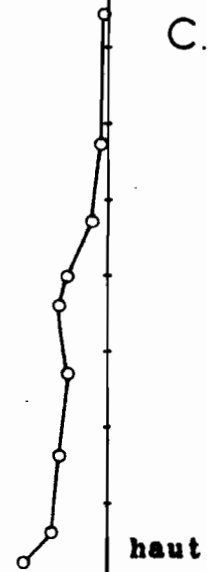
C.115_1



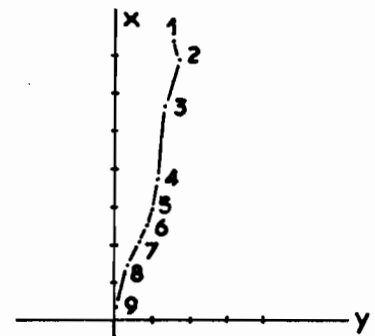
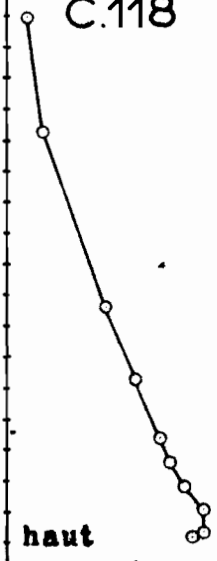
C.116_2



C.117_1



C.118



C.119_1



Site. b

ANOSIPARIHY

M/M_0

VARIATION DES A R N PENDANT LA DESAIMANTATION

Fig.1

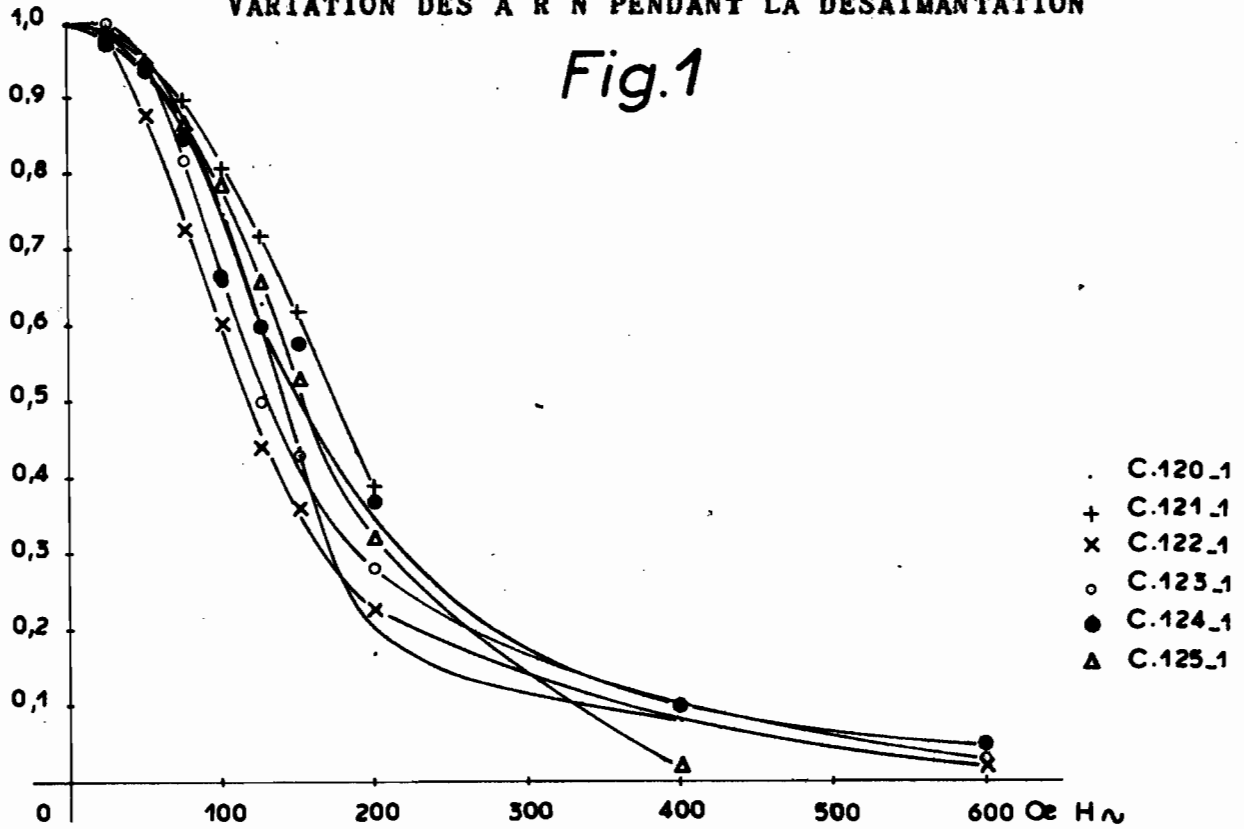


Fig.2

VARIATION DES DIRECTIONS D'AIMANTATION

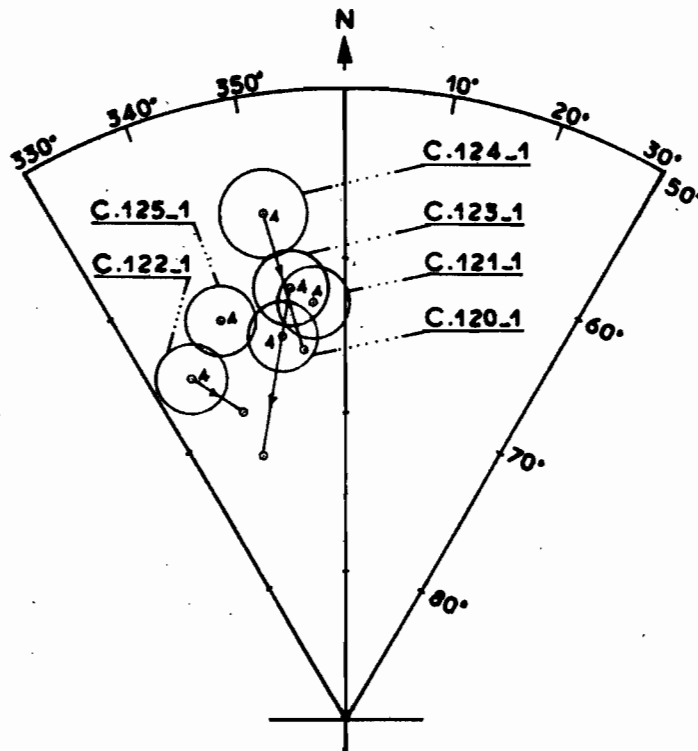
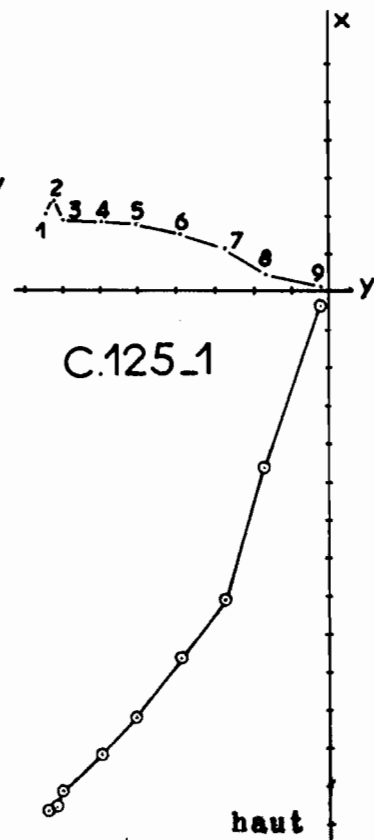
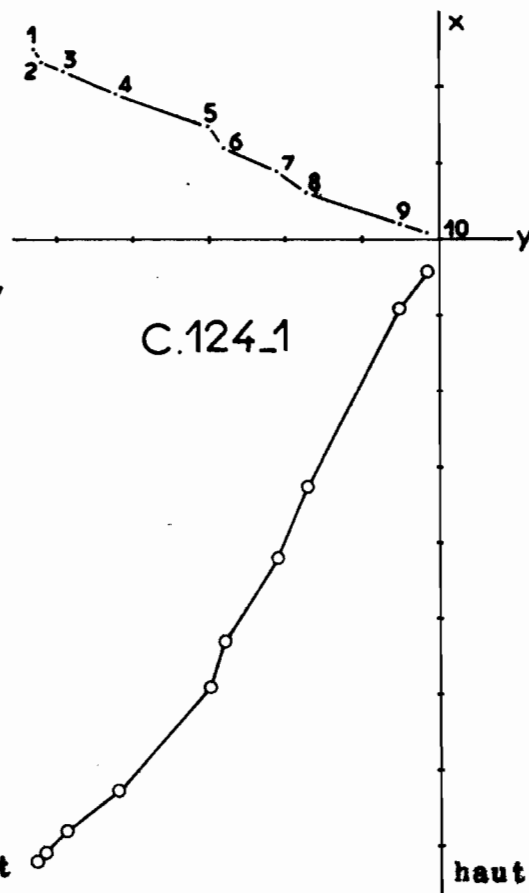
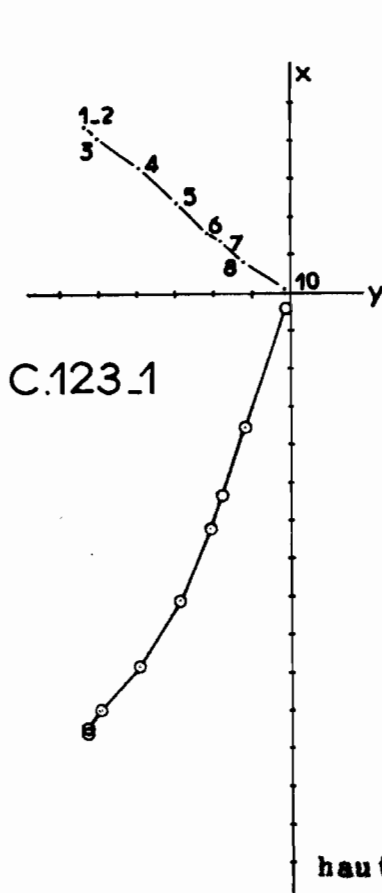
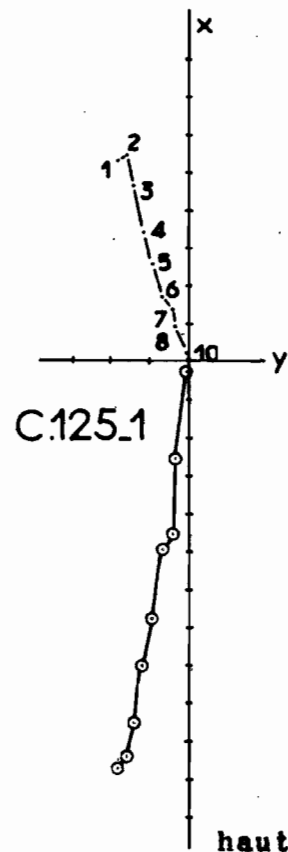
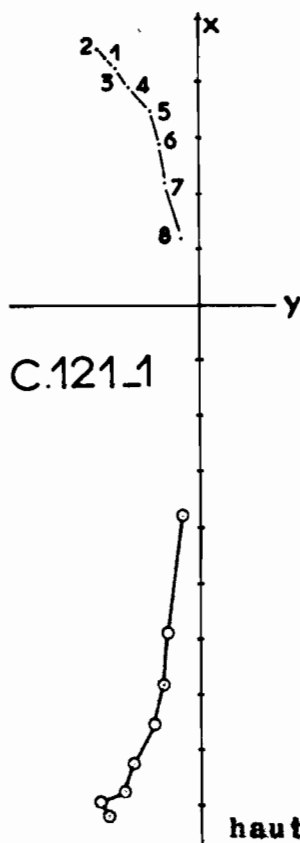
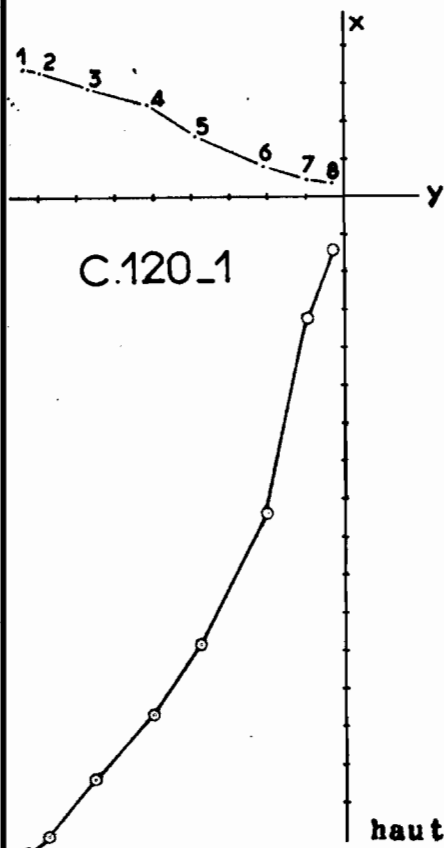


Fig.3

DIAGRAMMES DE DESAIMANTATION

Site.b



VARIATION DES A R N PENDANT LA DESAIMANTATION

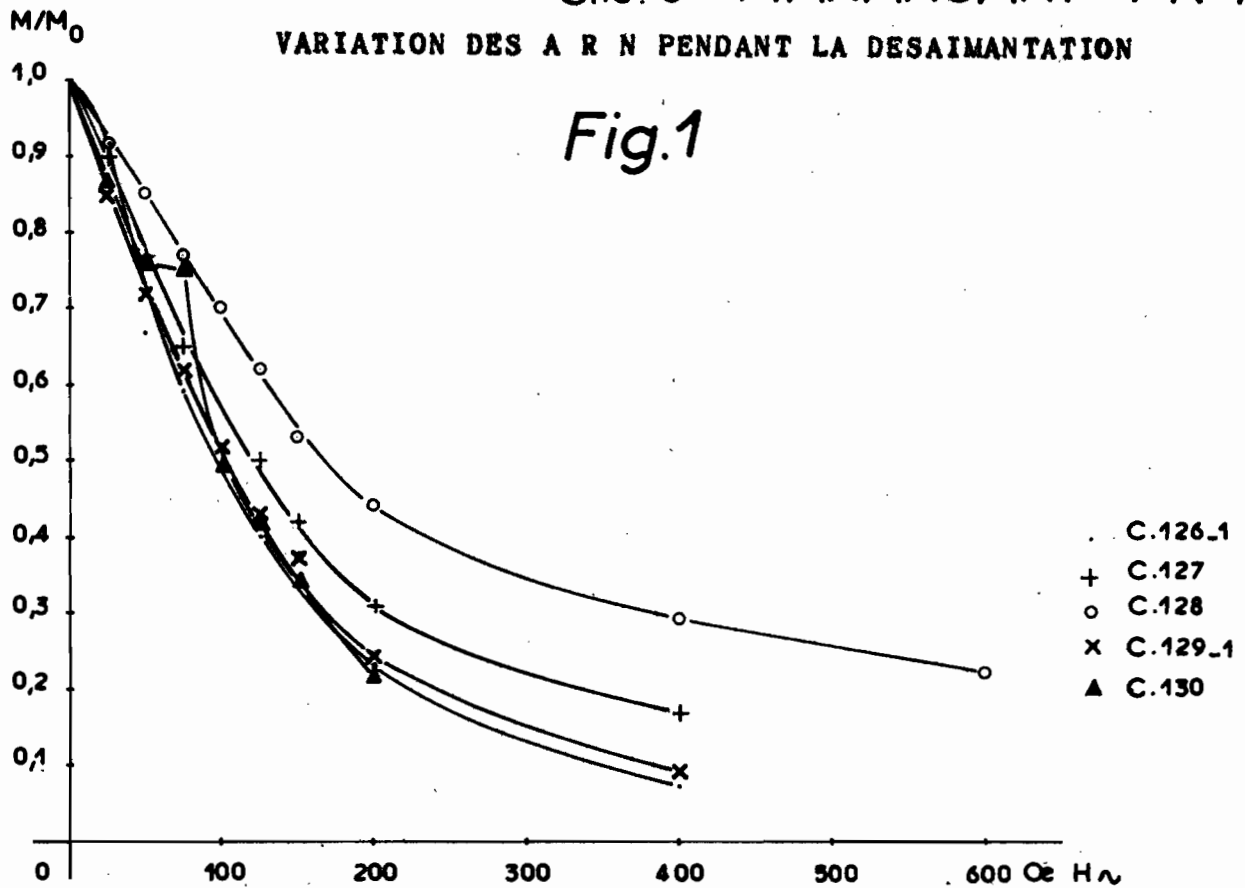


Fig.2

VARIATION DES DIRECTIONS D'AIMANTATION

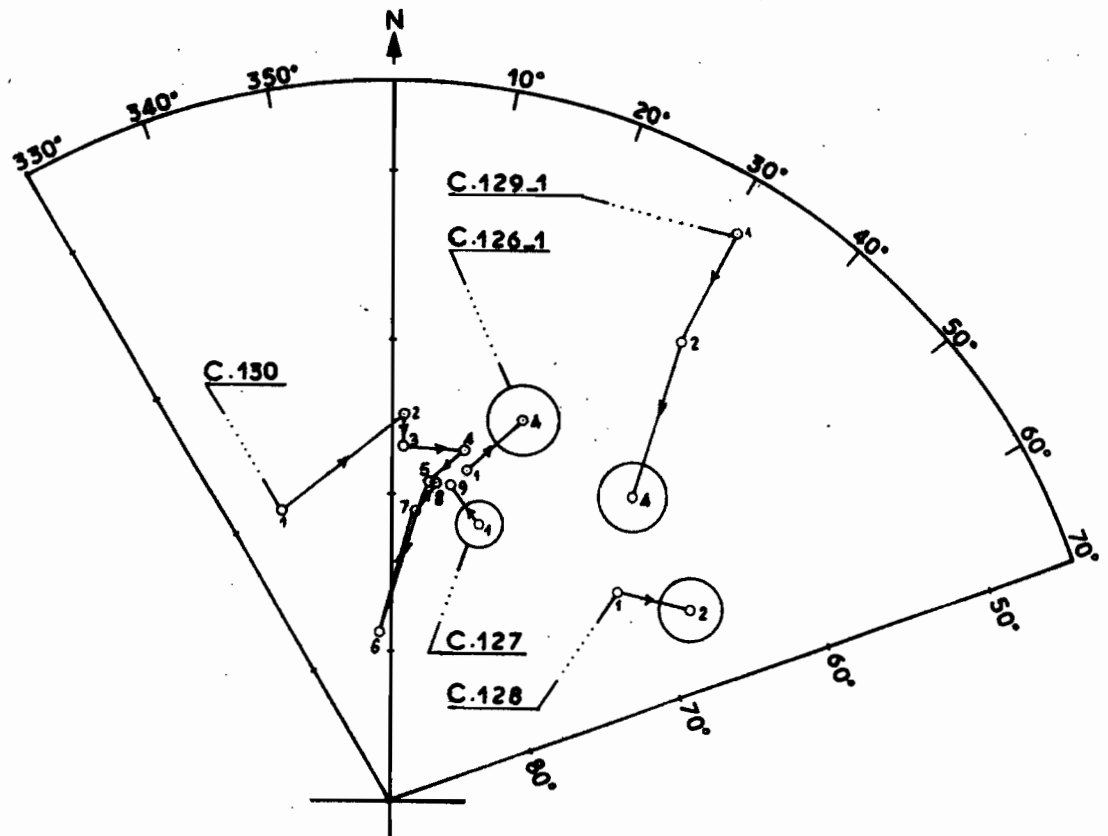
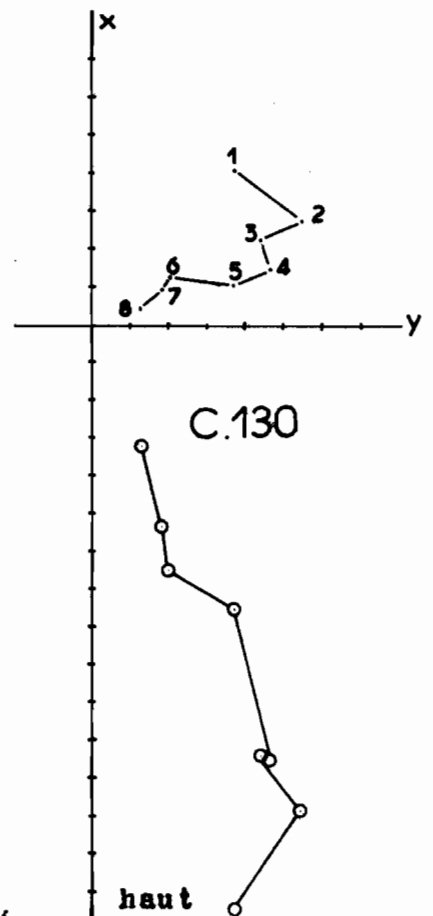
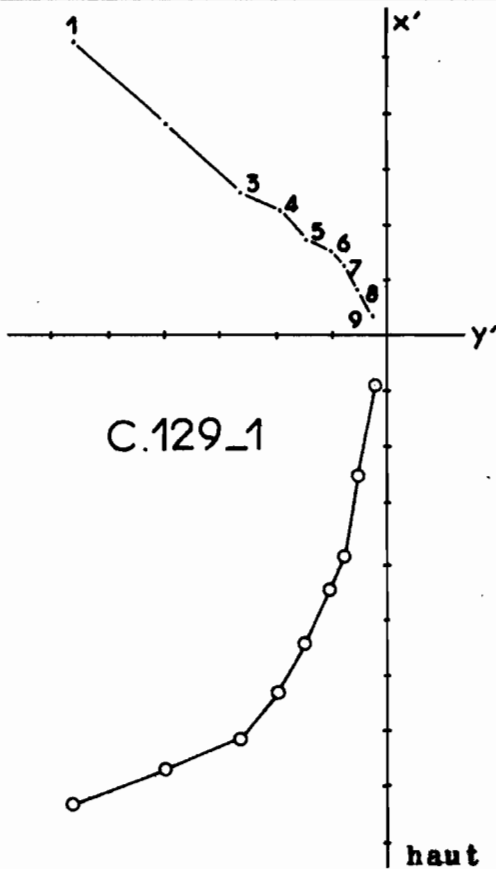
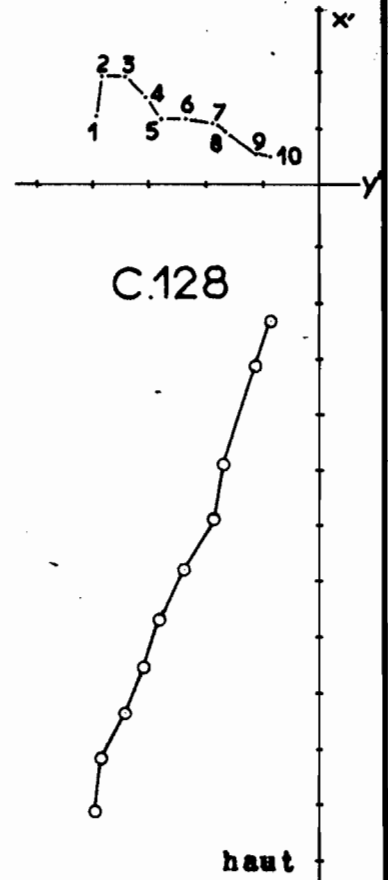
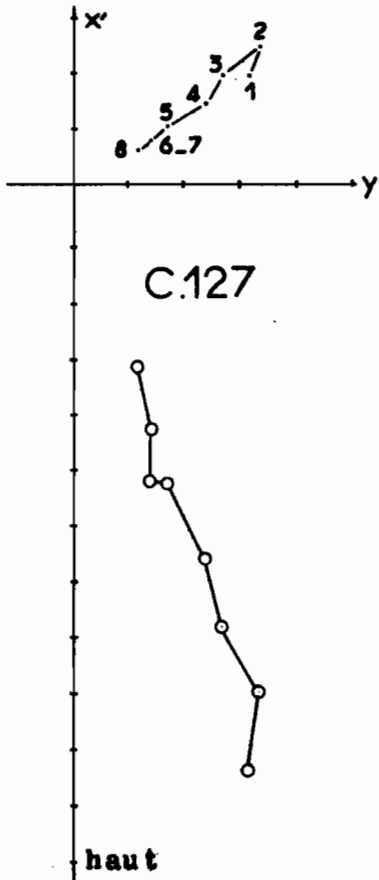
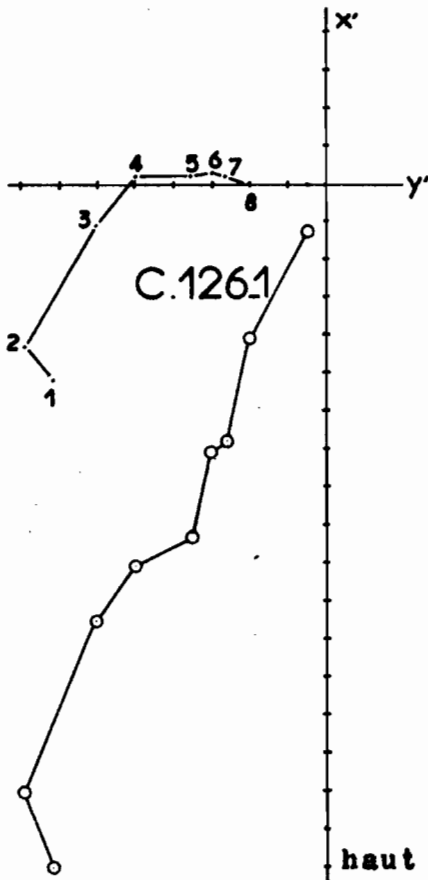


Fig.3

DIAGRAMMES DE DESAIMANTATION

Site. c



Site. d

MAHATSINJO

VARIATION DES A R N PENDANT LA DESAIMANTATION

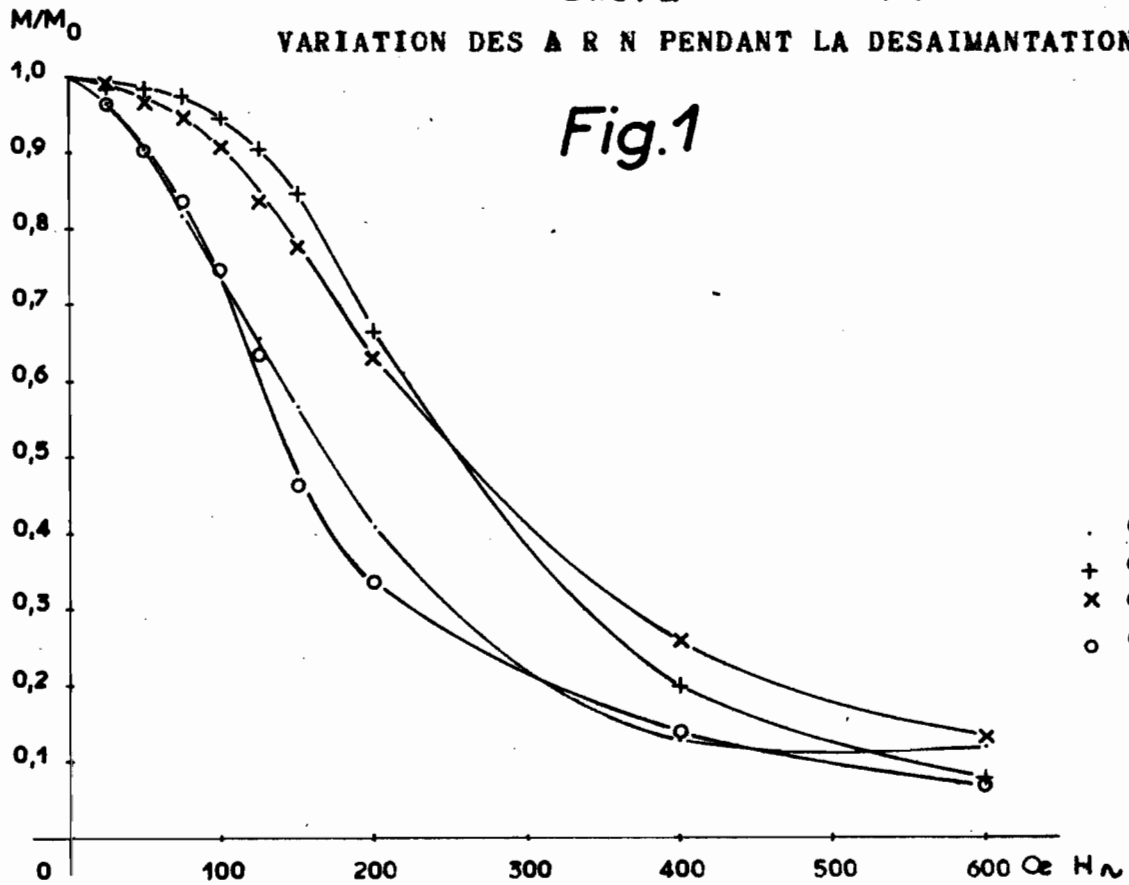


Fig.2

VARIATION DES DIRECTIONS D'AIMANTATION

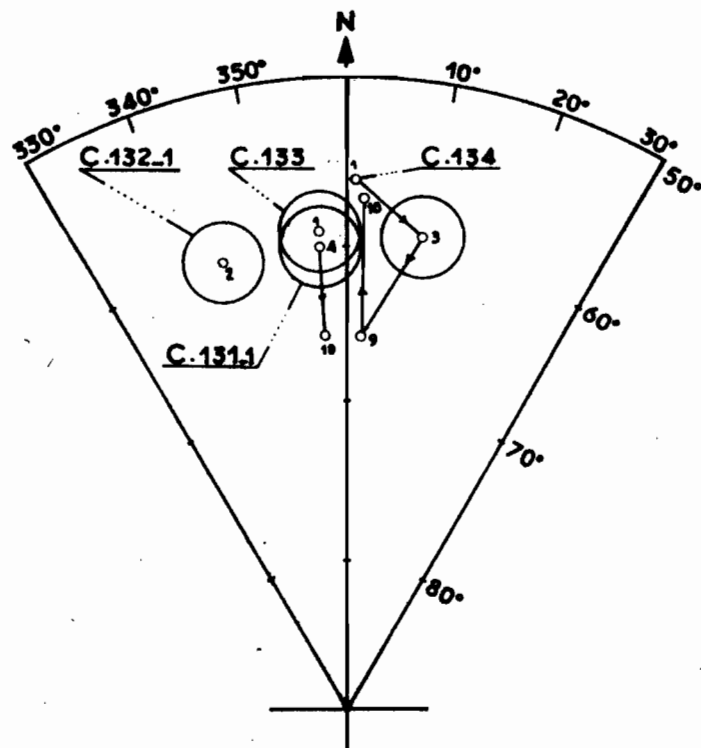
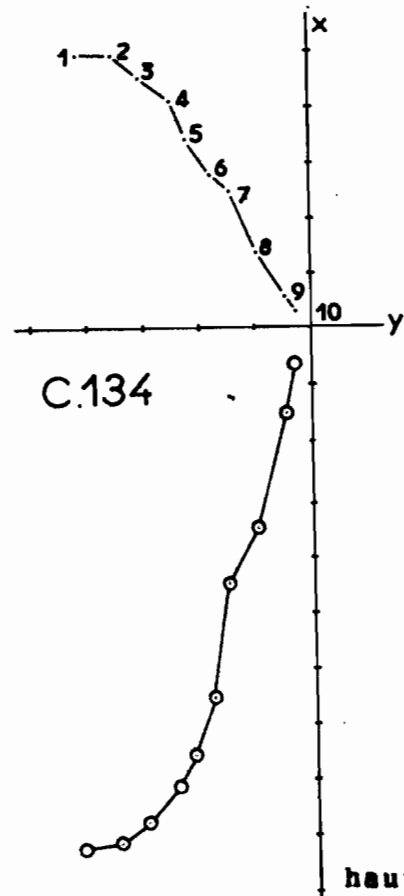
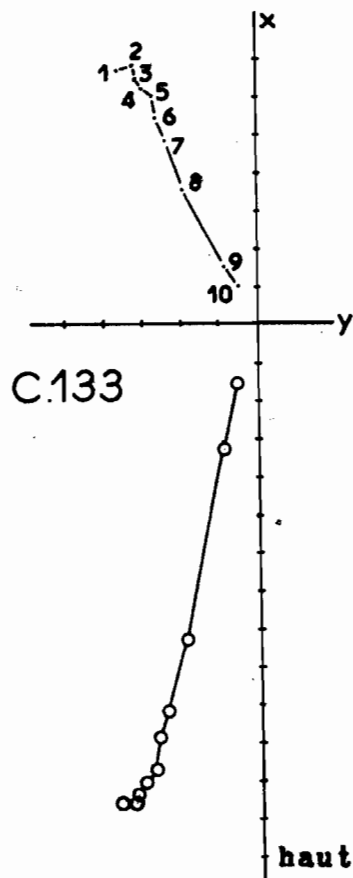
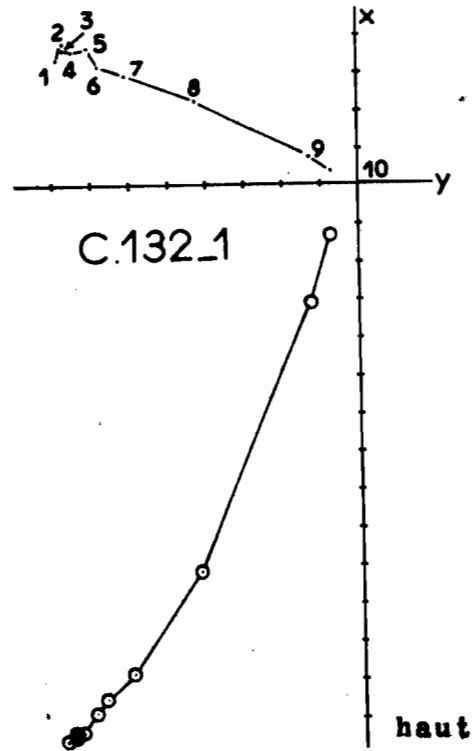
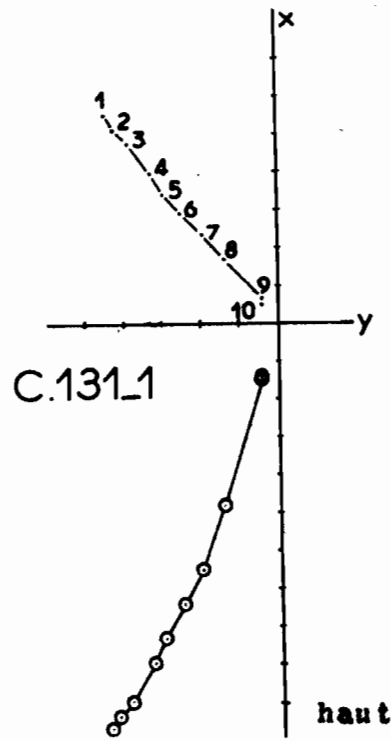


Fig.3

DIAGRAMMES DE DESAIMANTATION

Site.d



VARIATION DES A R N PENDANT LA DESAIMANTATION

Fig.1

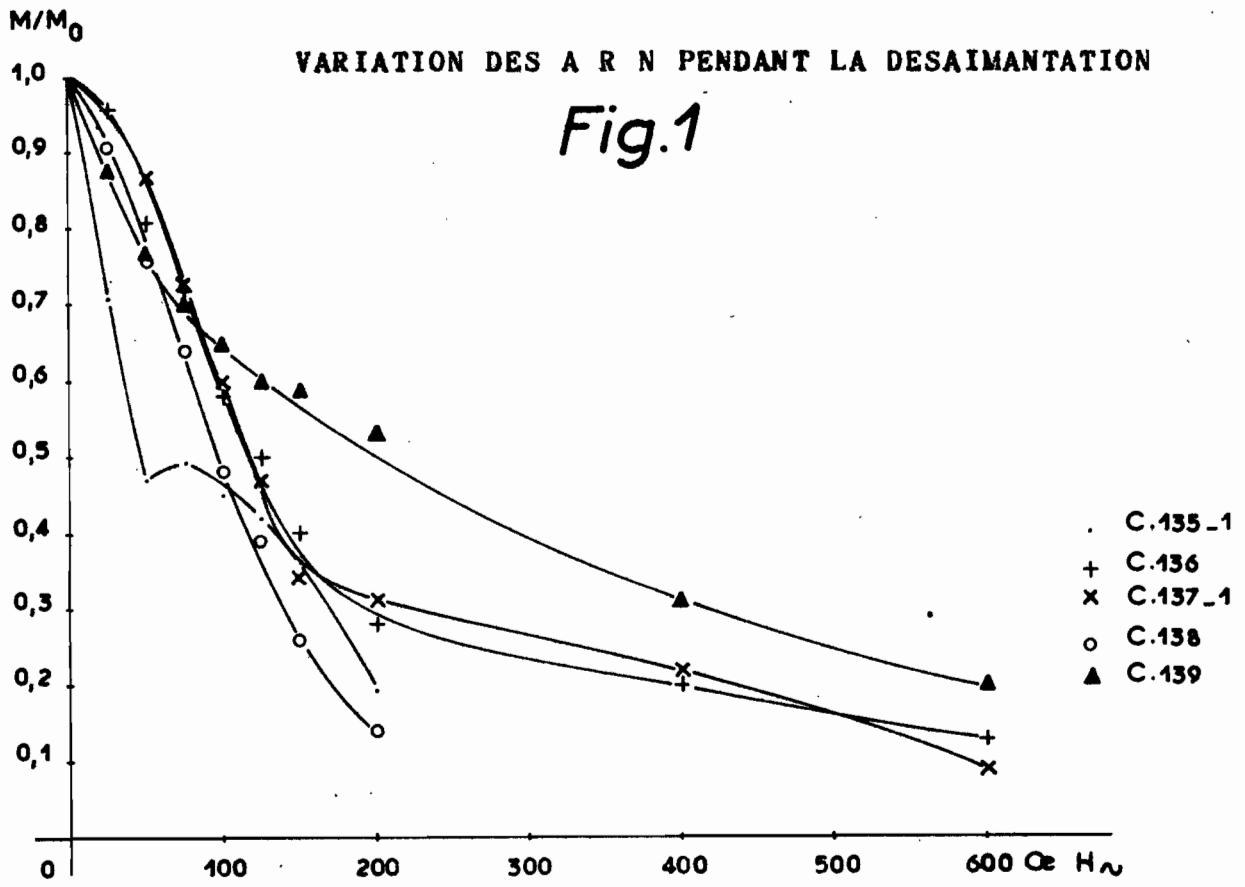
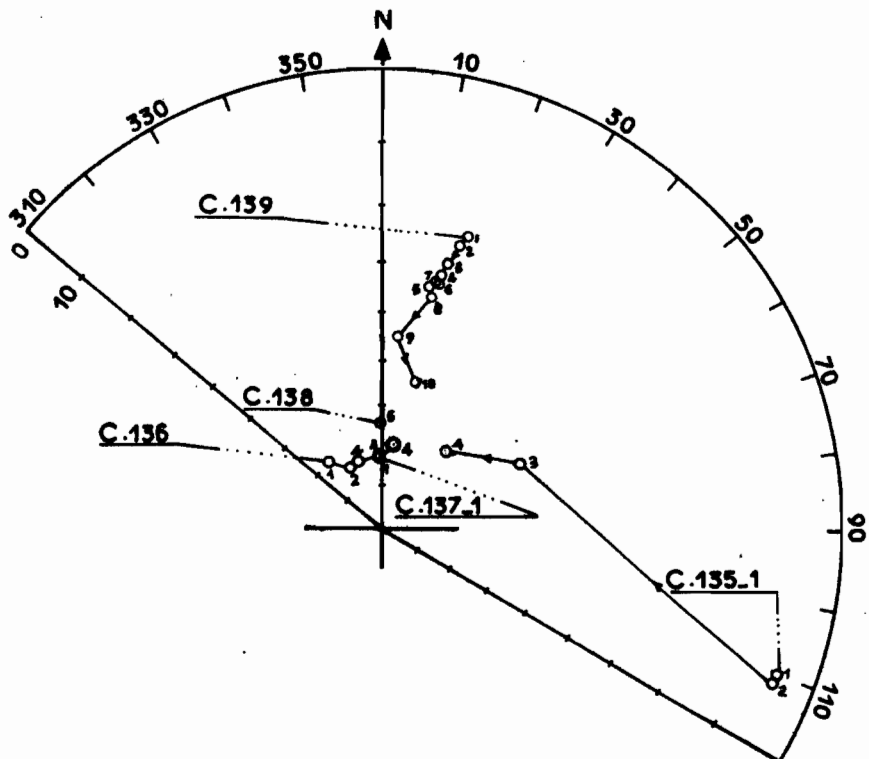


Fig.2

VARIATION DES DIRECTIONS D'AIMANTATION

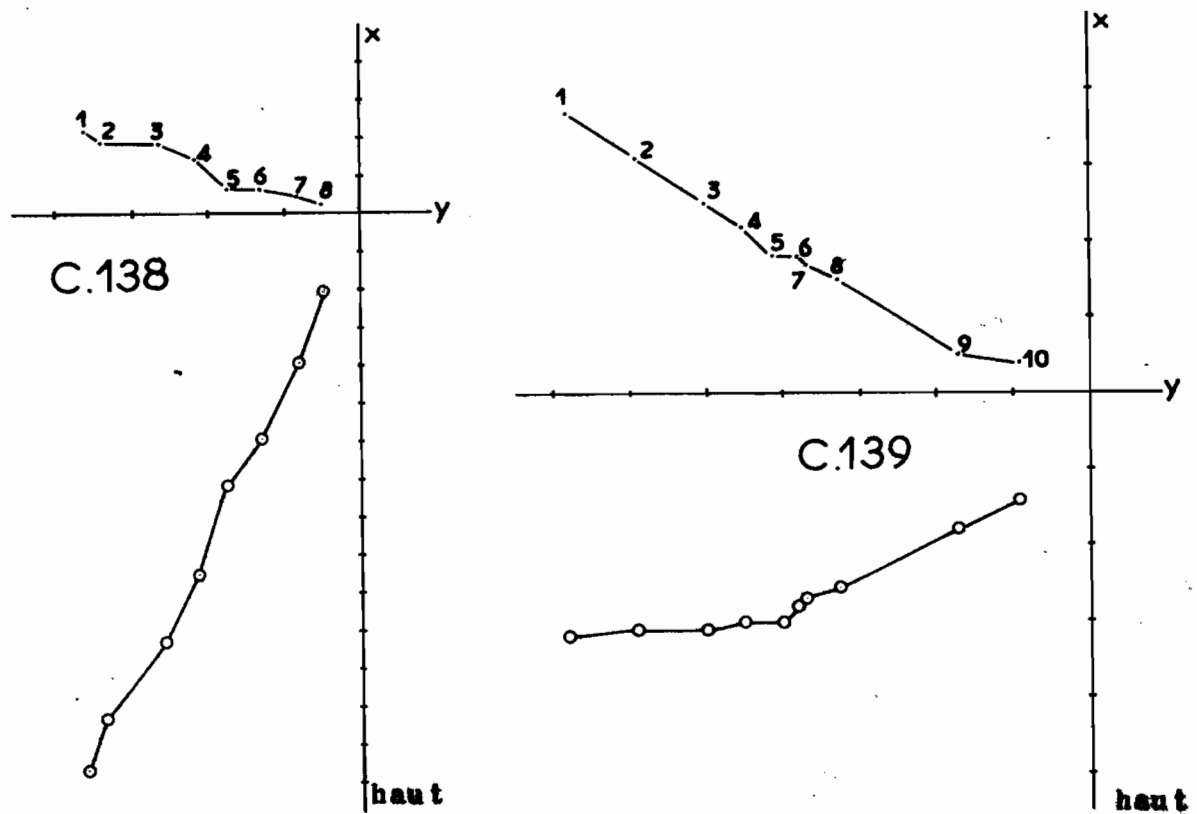
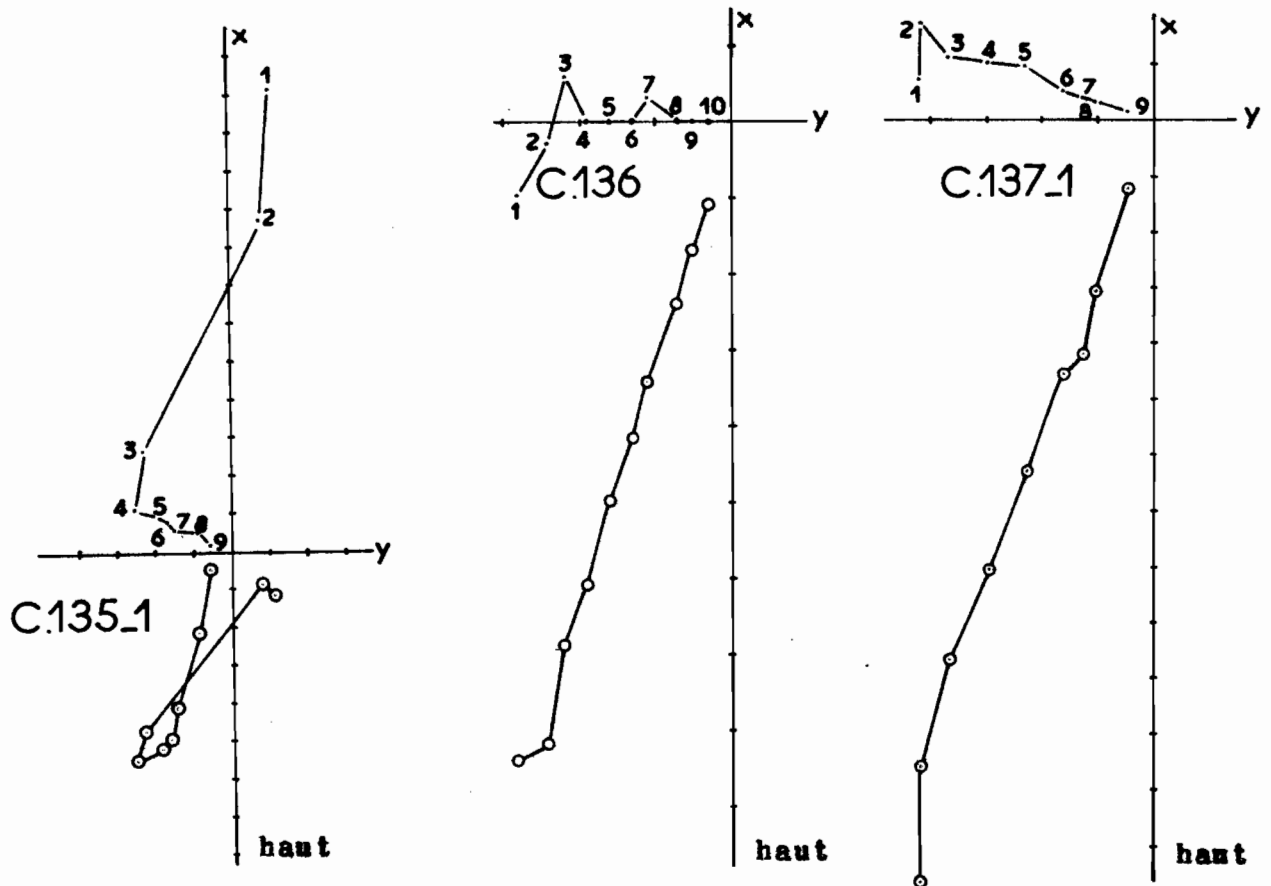


pour plus de clarté, les "cercles d'erreur" ne sont pas figurés pour les échantillons stables: C.135-1, C.137-1 et C.138

Fig.3

DIAGRAMMES DE DESAIMANTATION

Site.e



Site.k

VOHIPENO

VARIATION DES A R N PENDANT LA DESAIMANTATION

Fig.1

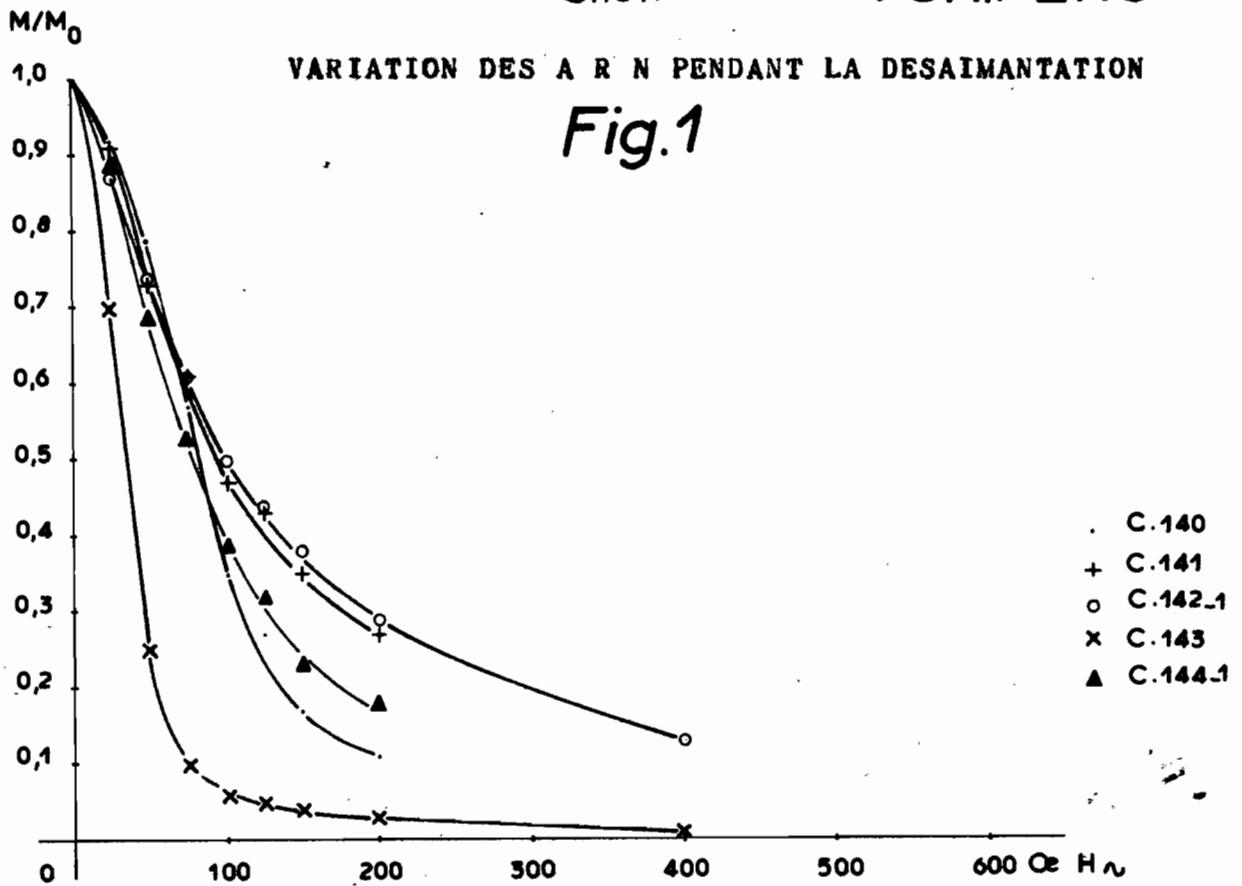


Fig.2

VARIATION DES DIRECTIONS D'AIMANTATION

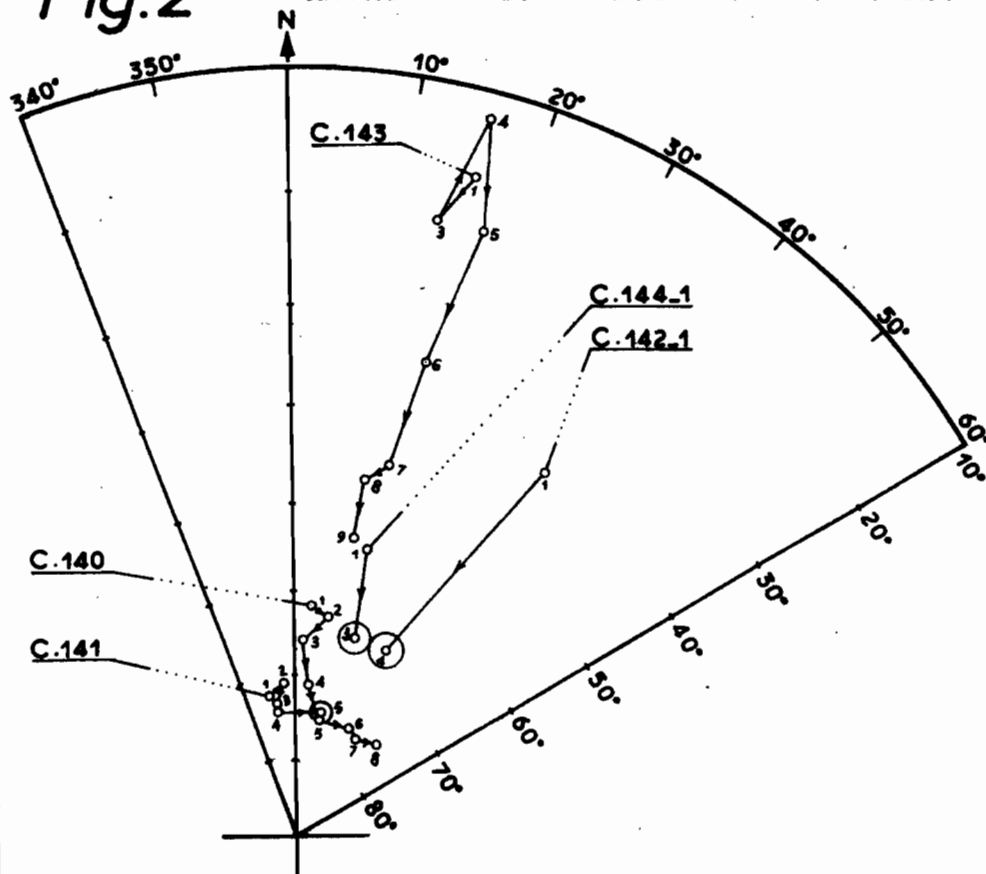
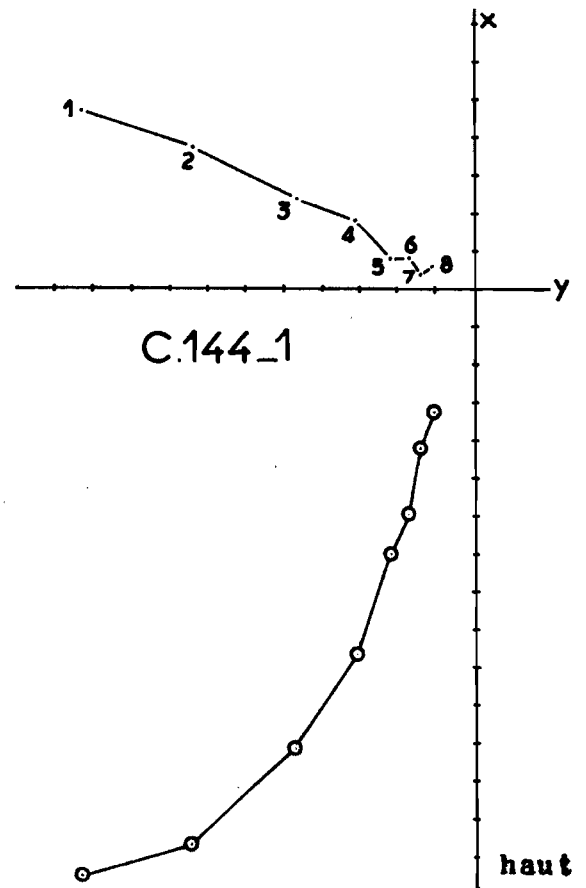
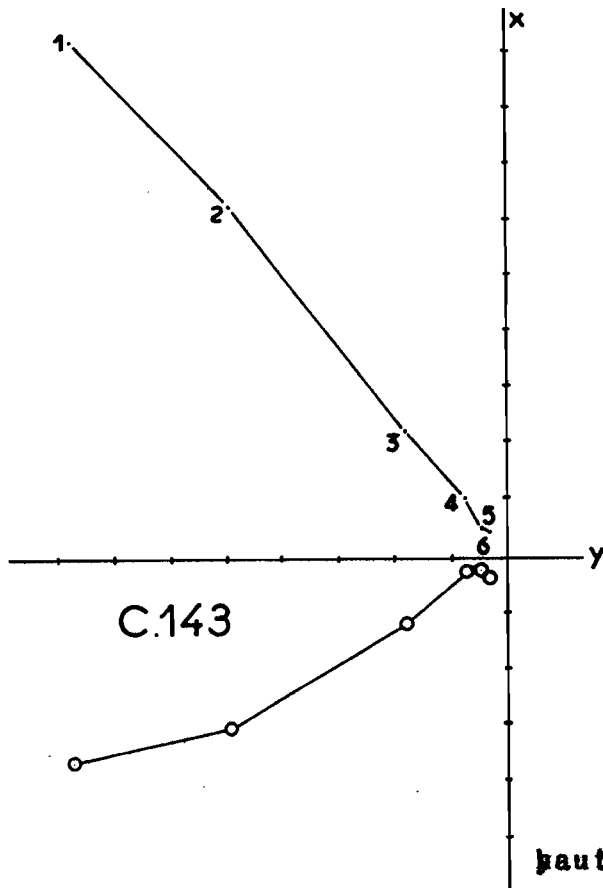
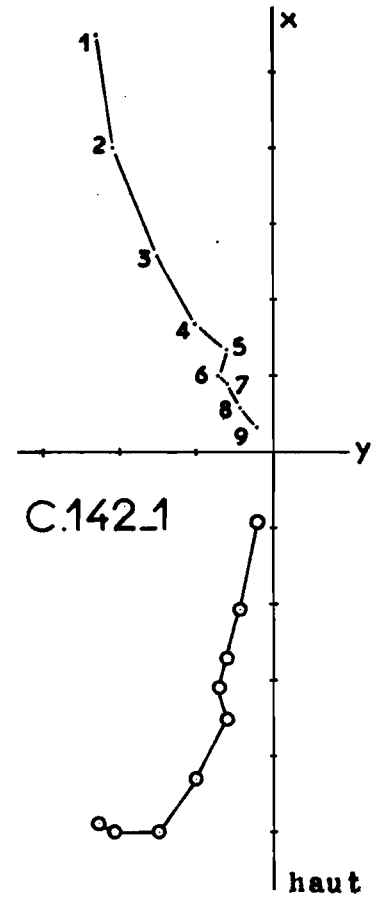
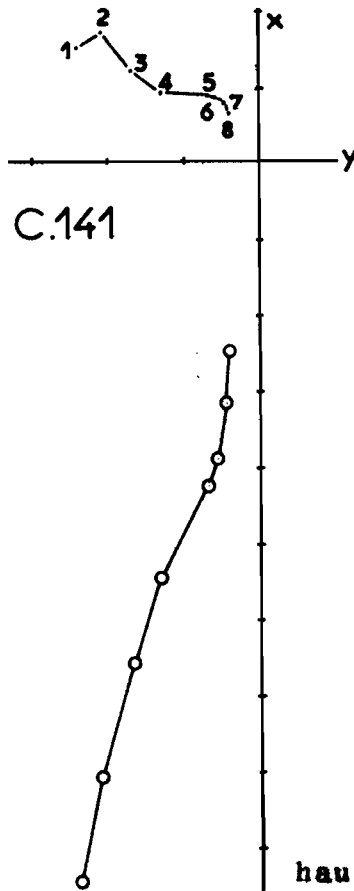
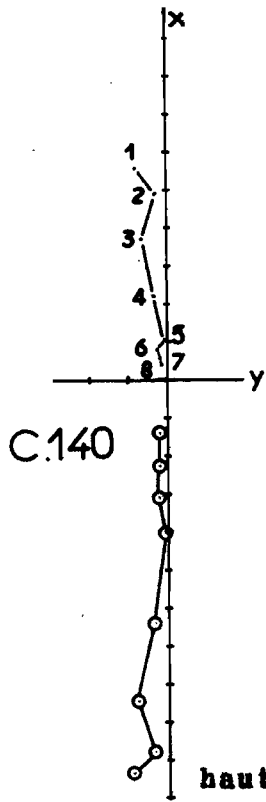


Fig.3

DIAGRAMMES DE DESAIMANTATION

Site.k



Site. I

PK19 VOHIPENO-FARAFANGANA

VARIATION DES A R N PENDANT LA DESAIMANTATION

Fig.1

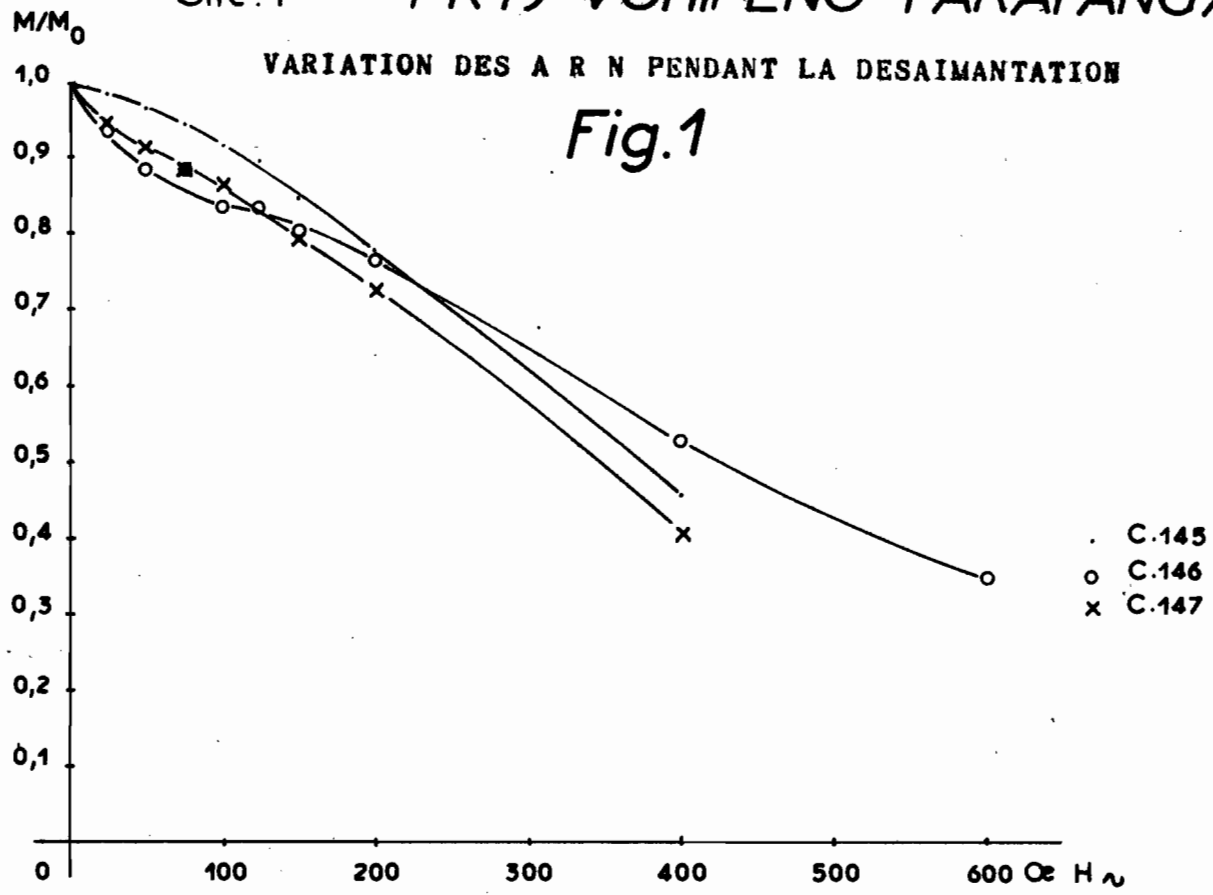


Fig.2

VARIATION DES DIRECTIONS D'AIMANTATION

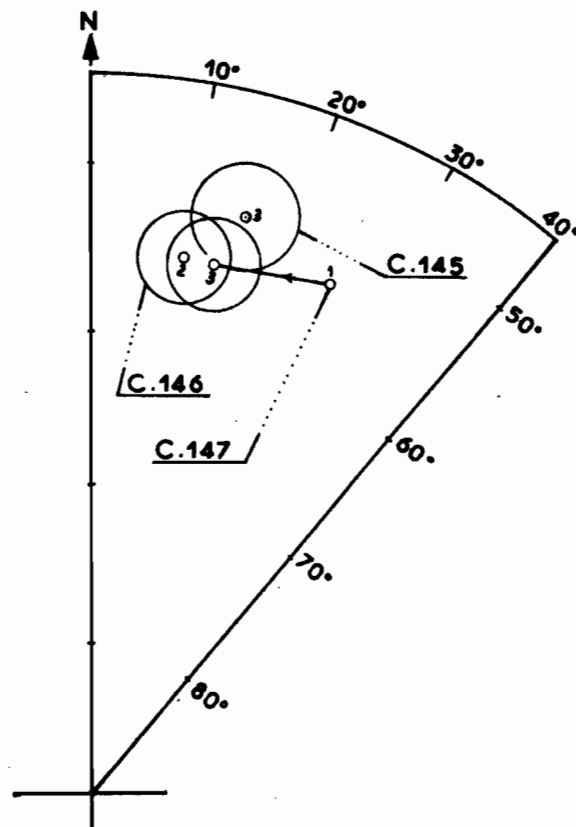
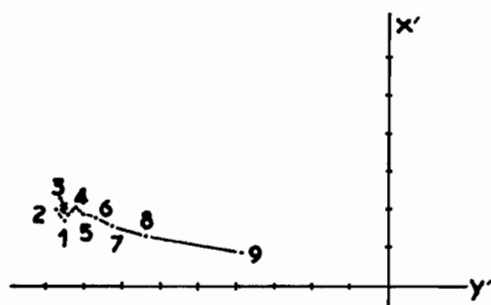


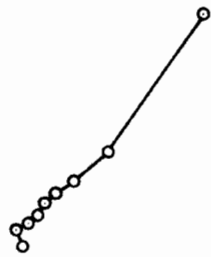
Fig.3

DIAGRAMMES DE DESAIMANTATION

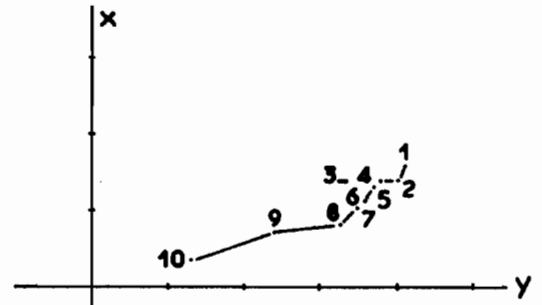
Site. I



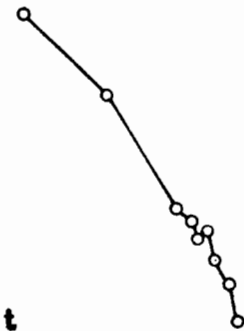
C.145



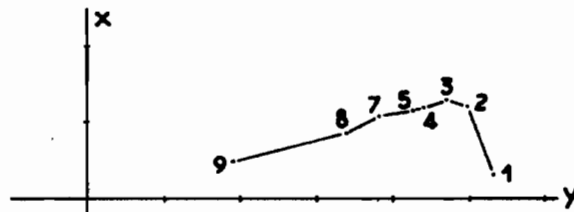
haut



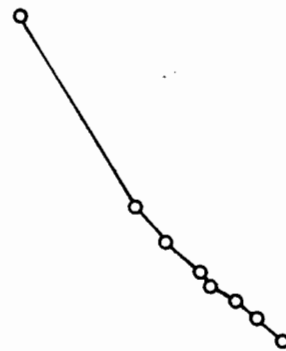
C.146



haut



C.147



haut