

Étude comparative des aimantations naturelles rémanente et induite de quelques échantillons de la cuirasse ferrugineuse d'Ambatovy

par

R. RÉMIOT*

Résumé

Quarante-neuf échantillons orientés ont été prélevés sur la cuirasse ferrugineuse d'Ambatovy, localité située à 80 km environ à l'est de Tananarive, Madagascar. De l'étude de leurs aimantations rémanente naturelle et induite par le champ magnétique terrestre actuel, il ressort que l'effet prépondérant revient au premier mode d'aimantation. Les susceptibilités magnétiques mesurées se placent en deçà de la moyenne : le fer d'Ambatovy doit se trouver sous forme d'oxyde hydraté peu magnétique.

Summary

Forty nine samples with reference directions have been taken on the ferruginous cuirass in Ambatovy, locality situated about 80 km (50 miles) east of Tananarive, Madagascar. From the study of their natural remanent magnetizations and the magnetizations induced by the actual magnetic field, it follows that the preponderant effect reverts to the first mechanism of magnetization. The magnetic susceptibilities measured are well within the average value : the iron of Ambatovy must be in the form of an hydroxide which is weakly magnetic.

INTRODUCTION

En prospection magnétique au sol, on a l'habitude d'interpréter les anomalies en ne tenant compte que de l'aimantation induite par le champ géomagnétique actuel du lieu. Or, les études paléomagnétiques des dernières décades montrent que l'aimantation rémanente acquise

* Directeur de Recherches de l'O.R.S.T.O.M. - Centre O.R.S.T.O.M. de Papeete

par les roches possède souvent des directions assez différentes de celles du champ terrestre actuel. D'autre part, les travaux de NAGATA, T. (5) ont mis l'accent sur le fait que cette aimantation peut être de plusieurs fois supérieure à l'aimantation induite naturelle.

Dans l'hypothèse la moins favorable, où le vecteur M_R d'aimantation rémanente naturelle d'une roche possède, d'une part, une forte intensité, d'autre part, une direction nettement différente du vecteur M_I d'aimantation induite par le champ magnétique terrestre actuel, il y a tout lieu de réviser la méthode classique d'interprétation du lever magnétique. Plusieurs auteurs (2, 7) se sont penchés sur ce problème en étudiant l'influence de M_R de roches mères non ou peu altérées. L'extension de cette étude aux cuirasses a retenu notre attention.

Sur les conseils de BESAIRIE, Chef du Service Géologique de Madagascar, notre choix s'est porté sur la cuirasse ferrugineuse d'Ambatovy (1) bien connue et formée en zone forestière sur roche ultrabasique.

ÉTUDE SUR LE TERRAIN

Pour notre recherche, nous avons prélevé quarante-neuf échantillons orientés répartis dans trois sites ayant respectivement pour centres les puits nos 3, 16 et 17 (1) forés par le service géologique au cours d'une campagne d'étude détaillée de cette cuirasse. L'axe moyen de ces trois puits est sensiblement dans la direction S-W N-E.

La taille des échantillons prélevés est très variable et la masse de chacun oscille entre quelques centaines de grammes et cinq kilogrammes. La dureté extrême de cette cuirasse que le service géologique a dû attaquer au burin et à l'explosif, et sa tendance à se casser très facilement nous ont conduit, par manque de temps et de moyens, à ne nous contenter que de prélèvements en surface.

Sur chaque échantillon détaché de la cuirasse et préalablement remis à son emplacement originel, nous avons coulé un petit chapeau de plâtre dont la surface supérieure est rendue horizontale par grattage au couteau. Sur ce plan ainsi préparé, est portée l'ombre du fil à plomb ou du fil vertical d'une alidade nivélatrice Goulier, ce dernier procédé évite bien des pertes de temps, surtout en cas de vent. On détermine l'azimut de cette trace suivant la méthode de calcul du soleil par l'heure. Sur la même surface, on matérialise aussi la direction de l'aiguille aimantée d'une boussole posée contre le plâtre.

A huit mètres à l'ouest du puits n° 16 (voir Pl. I), nous avons établi une base magnétique complète indispensable aux calculs de notre recherche.

Les valeurs trouvées, pour le 4 juin 1964, sont :

- pour la déclinaison magnétique : $D = 9^{\circ} 21' W$ à 08 h05 TU
- pour la composante horizontale : $H = 18\ 028$ gammas à 08 h26 TU
- pour la composante verticale : $Z = 28\ 600$ gammas à 08 h32 TU

A partir de H et de Z, nous déduisons le champ total F et l'inclinaison magnétique I :

$$F = 33\ 807 \text{ gammas}$$

$$I = -57^{\circ} 46,5'$$

D'autre part, une vingtaine de mesures à la B M Z ont été effectuées autour du puits 17.

ÉTUDE EN LABORATOIRE

Les mesures de susceptibilité magnétique ont été exécutées avec un magnétomètre astatique du type utilisé par THELLIER, E. (6), Professeur à la Sorbonne et Directeur de l'Institut de Physique du Globe de Paris. Quelques petites modifications de détails ont été apportées à l'appareil décrit dans les Annales de l'I. P. G. (6). Pour calculer la susceptibilité volumétrique à partir de la susceptibilité massique déterminée expérimentalement, nous avons besoin de la densité des échantillons que nous avons mesurée au densimètre GOGUEL.

Dans nos recherches sur l'aimantation rémanente actuelle, nous nous sommes servis d'un appareil à induction que nous avons étudié sous la direction de THELLIER, E. et qui a été construit par la firme PERMALI de Nancy. Cet inductomètre est de conception intermédiaire entre le prototype décrit dans les Annales de l'I. P. G. (6) et celui actuellement en service au laboratoire de magnétisme des roches et de paléomagnétisme de Saint-Maur (banlieue parisienne) utilisant l'amplification électronique.

PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

Les tableaux de résultats ci-joints sont à dix colonnes. On y trouve respectivement :

Colonne I — Numéro de l'échantillon prélevé. Le premier groupe de lettre et chiffres précédant la barre de fraction caractérise le puits, centre du site de prélèvement : les chiffres qui suivent donnent le numéro de l'échantillon. Quand plusieurs échantillons sont côte à côte, et proviennent du même bloc, ils portent le même numéro suivi d'une lettre minuscule.

Colonne II — Situation de l'échantillon, indiquée sur la planche II ou définie à l'aide d'une description sommaire.

Colonne III — Valeur de D_a : angle que fait la trace de l'axe de l'aiguille de la boussole plaquée contre le chapeau de plâtre avec le Nord géographique, nous l'appelons "déclinaison actuelle mesurée sur échantillon".

Colonne IV — Valeur de D_R : angle que fait avec le méridien géographique le demi plan vertical contenant le vecteur d'aimantation rémanente naturelle de l'échantillon en place, nous l'appelons "déclinaison magnétique rémanente".

Colonne V — Valeur de I_R : angle que fait avec le plan horizontal le vecteur d'aimantation rémanente M_R de l'échantillon en place, nous l'appelons "inclinaison magnétique rémanente" ; cette dernière est positive quand M_R est dirigée vers le bas, négative dans le cas contraire.

Colonne VI — Susceptibilité magnétique massique χ , exprimée en 10^{-6} uém cgs.

Colonne VII — Susceptibilité magnétique volumétrique k , exprimée en 10^{-6} uém cgs ; rappelons que k est déduit de χ par la relation : $k = \chi \cdot d$ (d étant la densité de l'échantillon).

Colonne VIII — Intensité d'aimantation rémanente naturelle massique (aimantation rémanente spécifique) σ_R , exprimée en 10^{-4} uém cgs.

Colonne IX — Intensité d'aimantation induite naturelle massique σ_I exprimée dans la même unité que dans la colonne 8, le champ inducteur qui intervient ici est le champ magnétique total du lieu de prélèvement de l'échantillon.

Colonne X — Rapport de σ_I à σ_R exprimé en tant pour cent.

N°	Situation	D _a	D _R	I _R	χ	k	σ _R	σ _I	σ _I /σ _R %
P3/1	Voir planche II	11°W	103°E	-69°	155	460	32,3	0,52	1,6
2	" "	15°W	130°W	-81°	210	635	71,3	0,71	1,0
3	" "	8°W	60°W	-55°	160	495	59,3	0,53	0,9
4	" "	19°W	1°E	+44°	190	570	14,1	0,64	4,5
5	" "	16°W	98°E	+17°	195	580	11,6	0,65	5,6
P16/1	Voir planche II	50°W	98°E	+19°	500	1380	416	1,70	0,4
2	" "	0°	47°E	+14°	290	845	16,9	0,98	5,8
3a	" "	58°W	80°E	-11°	455	1390	484	1,53	0,3
3b	" "	7°W	102°E	-62°	200	590	30,9	0,68	2,2
3c	" "	12°W	100°E	-48°	205	630	58,7	0,69	1,2
4	" "	40°W	94°E	+61°	350	1020	480	1,17	0,2
5	" "	13°W	122°E	-41°	195	585	6,04	0,66	11
6	" " et à -10 cm du niveau topographique actuel	12°W	37°E	+15°	310	870	53,3	0,72	1,4
7a	" "	19°W	36°W	-62°	540	1460	154	1,83	1,2
7b	contre et à l'W de 7a	19°W	42°W	-79°	640	1730	215	2,15	1,0
8	Voir planche II	4°W	125°E	-63°	125	370	138	0,42	0,3
9	à 6 m au NNW du centre du puits n° 16	7°W	92°E	-31°	145	390	128	0,49	0,4
P16/10a	à 10 m au NNW du centre du puits n° 16	10°W	119°W	+27°	100	300	1,31	0,34	26
10b	contre et à l'W de 10a	8°W	127°W	+35°	65	180	1,00	0,22	22
10c	contre et au S de 10b	7°W	112°W	+33°	110	315	1,91	0,36	19
11a	à 70 cm au NW de 10a	50°W	139°W	+40°	60	175	4,44	0,20	4,5
11b	contre et à l'W de 11a	54°W	127°W	+36°	75	210	4,73	0,25	5,3
12a	à 1,5 m au NW de 11a	4°W	135°W	+71°	90	250	1,84	0,31	17
12b	contre et au Sud de 12a	4°W	129°W	+67°	90	245	2,99	0,30	10

N°	Situation	D _a	D _R	I _R	χ	k	σ _R	σ _I	σ _I /σ _R %
P16/12c	contre et à l'E de 12a	7°W	125°W	+40°	110	320	3, 12	0, 37	12
12d	contre et à l'E de 12b	7°W	138°W	+35°	110	310	2, 21	0, 36	16
12e	contre et au SE de 12c	13°W	95°W	+73°	95	280	12, 7	0, 29	2, 3
12f	contre et au NE de 12e	8°W	70°E	+53°	95	290	36, 8	0, 32	0, 9
12g	contre et au SE de 12e	9°W	125°E	+63°	105	280	6, 82	0, 36	5, 3
12h	contre et à l'E de 12f	12°W	68°E	+31°	65	190	17, 6	0, 22	1, 3
12i	contre et à l'E de 12g	6°W	85°E	+65°	55	160	3, 8	0, 19	5, 0
12j	contre et au SE de 12h	8°W	45°E	+36°	60	170	8, 37	0, 21	2, 5
12k	contre et à l'E de 12i	10°W	30°E	+46°	105	275	6, 62	0, 35	5, 3
13a	à 30 cm au NE de 12a	12°W	48°W	+ 1°	105	285	6, 52	0, 35	5, 4
13b	contre et au SE de 13a	11°W	24°W	-27°	70	185	14, 3	0, 25	1, 7
13c	à 10 cm au NE de 13b	8°W	8°W	-50°	110	300	25, 4	0, 36	1, 4
P17/1	Voir planche II	12°W	171°E	-38°	175	520	66, 8	0, 72	1, 1
2	" "	18°W	55°E	-81°	130	370	30, 7	0, 44	1, 4
3	" "	16°W	142°E	-24°	195	585	62, 6	0, 66	1, 1
4	à 42 m à l'WSW du centre du puits n°17	9°W	134°E	-15°	95	280	13, 4	0, 32	1, 1
5	à 6 m au NW de P17/4	39°W	79°W	+38°	2 790	8 175	898	9, 41	2, 4
6	à 10 m au S de P17/5	14°W	166°E	+ 8°	320	970	16, 7	1, 08	6, 5
7	à 50 cm au NNW de P17/6	15°W	37°E	+18°	295	915	39, 7	0, 99	2, 5
8	à 52 m au SW du centre du puits n°17	42°W	16°E	-55°	2 380	6 735	1 190	8, 02	0, 7
9	à 1, 5 m au NNW de P17/8	26°W	23°W	+11°	295	910	75, 4	0, 91	1, 2
10	à 1, 4 m au NE de P17/9	14°W	103°W	+23°	530	1 550	44, 6	1, 78	4, 0
11	à 1, 5 m à l'E de P17/10	6°W	88°W	-27°	690	1 990	133	2, 31	1, 7
12a	à 1, 5 m au NW de P17/11	13°W	57°W	+13°	395	1 190	168	1, 34	0, 8
12b	contre et au NE de 12a	14°W	52°W	+ 9°	440	1 350	118	1, 49	1, 3

Sur la planche II, nous avons figuré les directions d'aimantation des composantes horizontales des aimantations rémanentes naturelles. On trouvera, en outre, sur la planche III les diagrammes résumant les résultats des colonnes 4 et 5 des tableaux qui précèdent. Signalons que le nombre des échantillons étudiés n'est pas suffisamment élevé pour pouvoir conférer une valeur statistique aux secteurs privilégiés que l'on découvre sur les diagrammes.

INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

La "déclinaison actuelle sur échantillon" qui figure dans la colonne 3 accuse une dispersion notable, en comparaison de celle des roches basiques de l'oligo-miocène que nous avons étudiées au Sénégal. Dans le cas présent, il faudrait sans doute incriminer de petits noyaux porteurs de forts moments rémanents situés dans le voisinage immédiat de l'échantillon et présentant une grande anomalie. Les phénomènes d'altération primaire, de migration et d'accumulation secondaires d'éléments rocheux très magnétiques, sûrement complexes, nous autorisent à formuler cette hypothèse.

En ce qui concerne les directions des composantes horizontales des aimantations rémanentes naturelles, on observe une forte dispersion. Notons toutefois que la moyenne des "déclinaisons rémanentes naturelles" diffère franchement de la déclinaison magnétique actuelle. S'il était permis de penser que le champ magnétique terrestre, à l'époque de la migration du fer des couches profondes vers la surface, eût quelque influence sur le processus d'orientation de la matière aimantée, on serait tenté d'attribuer à ce champ une direction perpendiculaire à l'actuelle. Des contraintes très localisées pourraient être mises en cause pour expliquer la diversité des directions trouvées. Elles seraient d'ordre physique (topographie, régime des eaux, insolation, température, spécialement les feux de brousse, érosion) et physico-chimique (érosion et végétation) sans oublier l'effet très probable de la foudre, et certainement sans doute le mécanisme de canalisation de grains de magnétite en des points privilégiés.

Le bloc duquel sont prélevés les onze échantillons jointifs P 16/12 présente un phénomène particulier : la "déclinaison rémanente" des quatre échantillons de la partie ouest de ce bloc est occidentale tandis que celle des autres est orientale. Faut-il y voir un effet possible de la foudre ?

En comparant les valeurs de D_a et de D_R , on voit apparaître pour la plupart des échantillons une divergence très marquée. Ce fait conduit à penser que D_a est très peu influencée par le magnétisme rémanent intrinsèque de l'échantillon.

Quant aux susceptibilités magnétiques, si l'on compare les valeurs actuelles à celles de LE BORGNE, E. (4), de CRENN, Y. et aux nôtres pour les cuirasses de la Haute-Volta, elles se placent plutôt en deçà de la moyenne. Le fer d'Ambatovy se présente probablement sous forme d'oxyde hydraté peu magnétique.

L'examen des colonnes 8 et 9 révèle qu'en aucun cas l'intensité d'aimantation induite naturelle n'est égale ou supérieure à son "homologue rémanente". Ce phénomène est-il particulier à la cuirasse d'Ambatovy se rattachant à un gisement d'altération latéritiques sur péri-dotites qu'on trouve assez rarement ? Une étude en cours sur plus de neuf cents échantillons orientés prélevés sur une cuirasse bauxitique, plus généralement rencontrée, permettra de répondre à cette question.

Le rapport σ_I / σ_R exprimé en tant pour cent caractérise le degré de la prédominance de l'une des formes d'aimantation sur l'autre. Sur les quarante-neuf valeurs calculées,

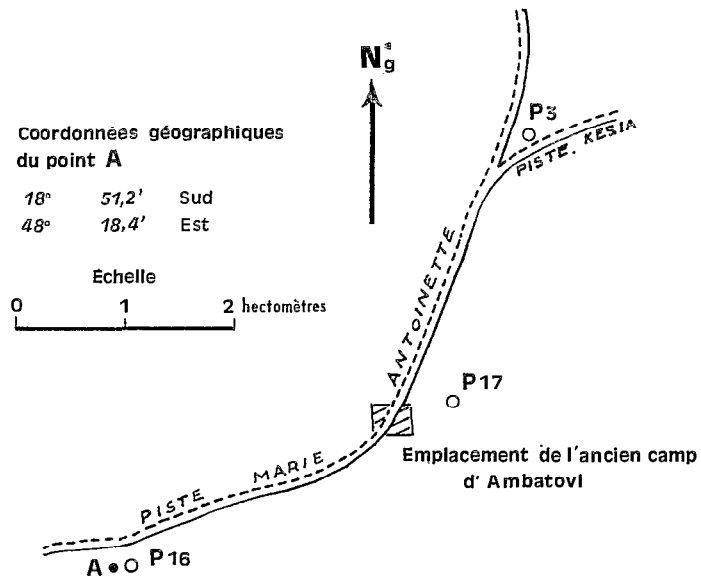
trente-neuf sont inférieures ou égales à 5%, une seule dépasse 25%. Il est à remarquer aussi que la valeur de 1% apparaît le plus fréquemment. Signalons que, pour les onze échantillons P 16/12 dont il a été question précédemment, à l'inversion de D_R de l'ouest à l'est, correspond une décroissance très marquée du rapport σ_I / σ_R .

CONCLUSION

Comme l'on doit s'y attendre, la distribution des aimantations rémanentes naturelles sur une cuirasse est un phénomène très complexe. Retenons cependant de notre étude sur la cuirasse d'Ambatovy que l'effet prépondérant revient à l'aimantation rémanente, du moins à l'échelle individuelle des échantillons prélevés. La très forte dispersion des "déclinaisons actuelles sur échantillons" écarte toute tentative d'emploi de la méthode déclinée pour le repérage azimutal des échantillons orientés quand on opère sur des formations analogues à celle que nous avons étudiée.

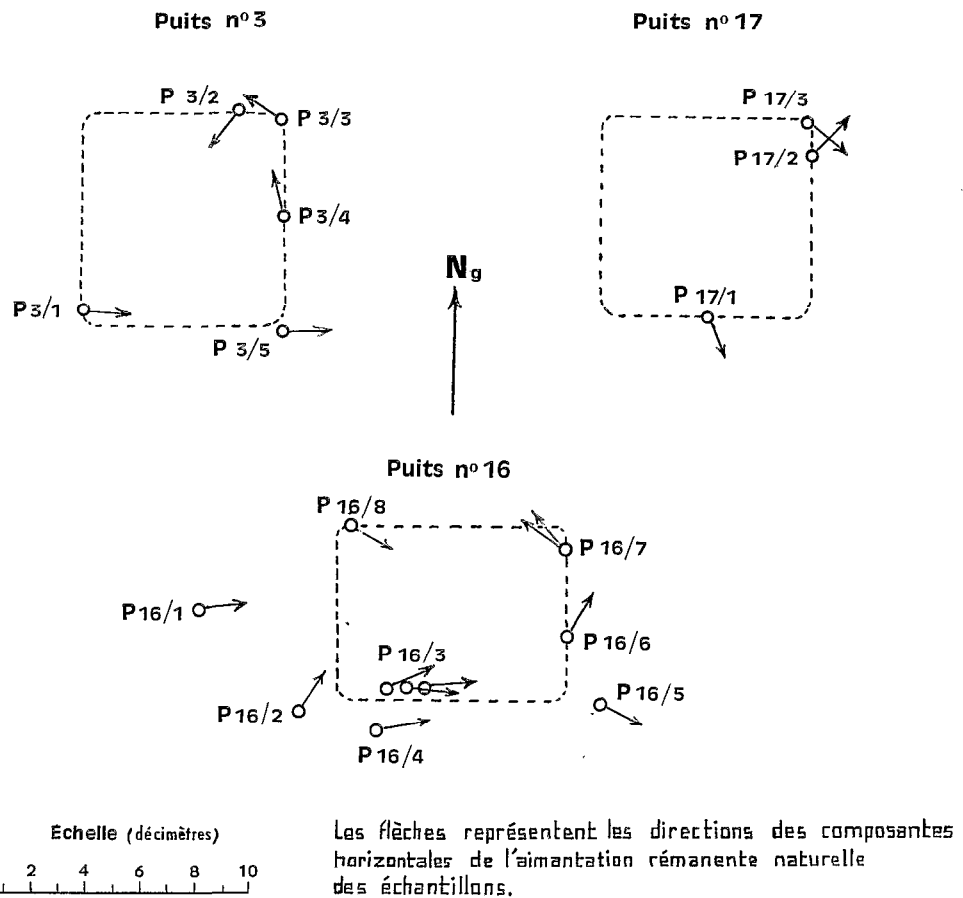
Quant aux conclusions pratiques intéressant le prospecteur qui utilise ou une balance de Schmidt ou un magnétomètre à protons soumis à l'action perturbatrice combinée des aimantations rémanente et induite naturelle de la cuirasse, les anomalies très locales de Z, avec un gradient horizontal dépassant largement un millier de gammas au mètre, que nous avons fréquemment rencontrées, constituent un obstacle majeur à l'emploi de la méthode magnétique au sol.

Pl. I

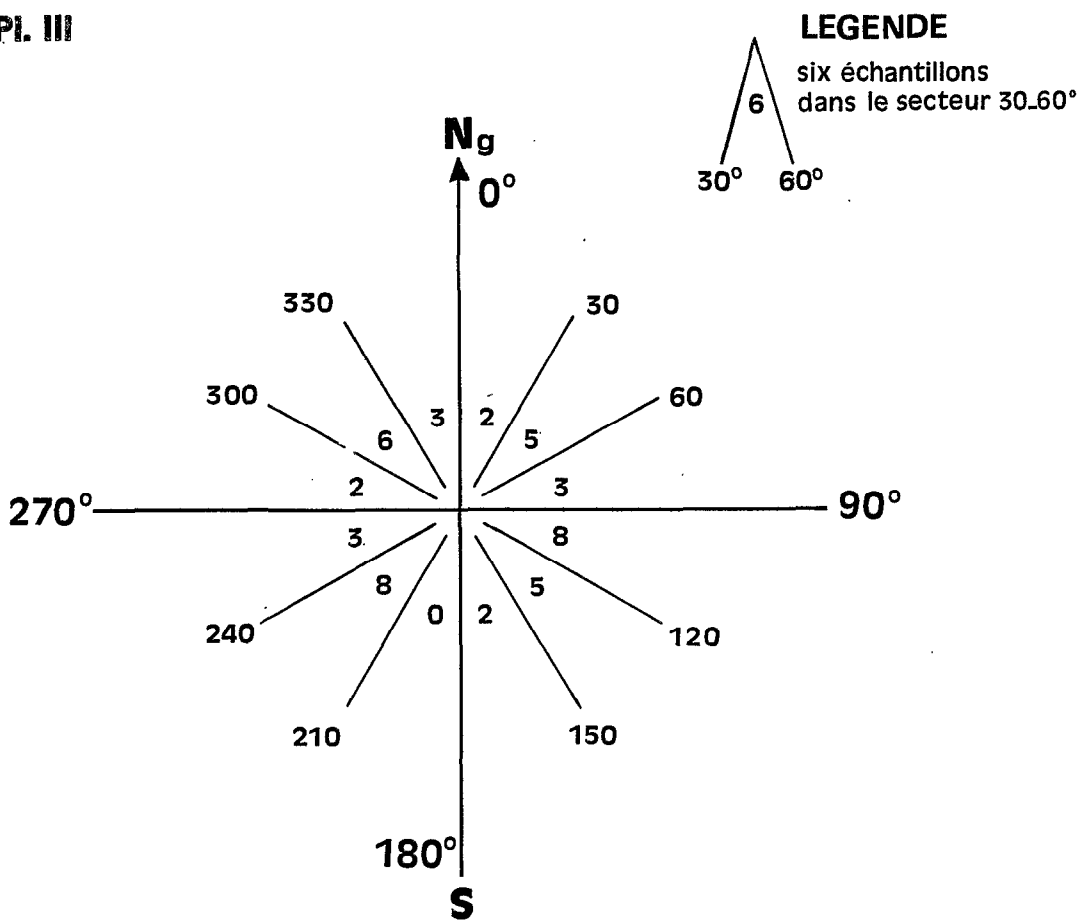


Plan d'ensemble des sites de prise d'échantillons

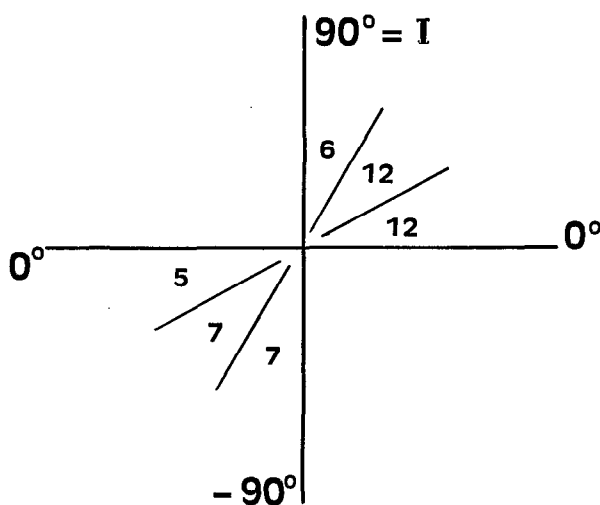
Pl. II



Plan de position des échantillons aux divers puits étudiés



Répartition des directions des composantes horizontales de l'aimantation rémanente naturelle



Répartition des inclinaisons I de l'aimantation rémanente naturelle

Bibliographie

- (1) DELBOS (L.) et RANTOANINA - 1961 - *Travaux du Bureau Géologique n° 106*, Service Géologique, Tananarive.
 - (2) GREEN (R.) - 1960 - Remanent magnetization and the interpretation of magnetic anomalies : *Geoph. Prosp.*, v 8, pp. 98-110.
 - (3) LE BORGNE (E.) - Avril-juin 1960 - Influence du feu sur les propriétés magnétiques du sol. *Annales de géophysique* t. 16, fasc. 2.
 - (4) LE BORGNE (E.) - 1957 - *C.R. du 3ème Congrès de la P.I.O.S.A.* Tananarive, section D.
 - (5) NAGATA (T.) - 1953 - *Rock magnetism* : Tokyo, Mazuren C°, Ltd.
 - (6) THELLIER (E.) - Paris 1938 - "Thèse Fac. Sc." - *Annales de l'Institut de Physique du Globe*, Paris, 16, 1938.
 - (7) WALTER, W. HAYS and LEROY SCHARON - 1963 - An example of the influence of remanent magnetization on magnetic intensity measurements, *Geophysics*, Vol. XXVIII, n° 6, pp. 1037-1048.
-