

CENTRE O.R.S.T.O.M.  
DE TANANARIVE

1969

MESURE D'AIMANTATION REMANENTE

et

ETUDE DES DISPERSIONS EXPERIMENTALES

ANDRIAMIRADO (R.)

23 JUN 1972

O. R. S. T. O. M.

Collection de Référence

n° B 55-10 Geoph.

MESURE D'AIMANTATION REMANENTE  
ET  
ETUDE DES DISPERSIONS EXPERIMENTALES

---

La plupart des roches volcaniques ont des aimantations rémanentes naturelles variant de  $10^{-4}$  à  $10^{-2}$  uém par centimètre cube. En outre, ces aimantations comportent, la plupart du temps, des aimantations secondaires, qui sont les principales sources d'erreur, dans une étude paléomagnétique. Il est par conséquent indispensable de les supprimer auparavant, en désaimantant progressivement l'échantillon, dans des champs alternatifs.

La mesure de rémanence nécessite donc un appareil suffisamment sensible et la recherche de la composante stable, un appareil de désaimantation approprié.

Ce rapport a pour objet de décrire l'inductomètre et le système de désaimantation que nous utilisons.

En paléomagnétisme, il convient de connaître l'amplitude des dispersions angulaires introduites par les expériences, avant de rattacher les dispersions observées, aux changements dans la direction du champ ancien. Nous essayons dans ce même rapport d'estimer les dispersions introduites par les erreurs de mesure et par la fluctuation de l'aimantation lors de la désaimantation.

#### A.- L'INDUCTOMETRE

##### I. Rappel du principe de l'appareil

L'inductomètre que nous utilisons est de principe analogue à celui décrit par E. THELLIER (1).

Une masse aimantée de moment  $\vec{M}$  placée au centre d'un volume de champ uniforme  $\vec{H}$ , d'un circuit fermé sur un galvanomètre, envoyé à travers ce circuit, un flux magnétique :

$$\psi = MG \cos \alpha$$

$\alpha$  : étant l'angle que fait le moment  $\vec{M}$  avec le champ  $\vec{H}$

G : constante du circuit.

...

Par déplacement de la masse aimantée, le circuit devient le siège d'une variation de flux, qui fait passer dans le circuit du galvanomètre, une quantité d'électricité provoquant une déviation de ce dernier.

Connaissant la constante du balistique, on pourra par conséquent déduire la valeur du moment magnétique du corps étudié.

Le mode de déplacement que nous utilisons est le retournement.

## II. Description de l'inductomètre (Photo N°1)

L'inductomètre est composé :

- de trois systèmes de bobines d'Helmholtz
- d'un dispositif de retournement placé au centre des bobines
- d'un galvanomètre.

### II. 1 - Les bobines

Les trois systèmes de bobines sont concentriques et déterminent en leur centre, un volume à champ uniforme de 15 centimètres environ de rayon. Les paires de bobines ayant le plus grand et le plus petit diamètres servent aux mesures de rémanence. La troisième paire est utilisée pour les mesures d'aimantation induite. (Photo N°2)

### II. 2 - Le dispositif de retournement

Pour procéder au retournement de l'échantillon, celui-ci est placé dans le volume à champ uniforme, sur un plateau mobile autour d'un axe vertical, passant par le centre du système.

Un dispositif à vis permet de "coincer" l'échantillon contre le plateau. De ce fait, l'ensemble "plateau - échantillon", peut être retourné autour de l'axe vertical. (Photos Nos 2 et 3)

L'échantillon, généralement de forme cubique, peut être placé avec précision au centre des bobines, grâce à des calcs appropriées. Un cadran gradué (de 5° en 5°) solidaire du bâti, support des bobines, permet de repérer la position des axes de l'échantillon, par rapport à l'axe des bobines. (Photo N°4)

...

## II. 3 - Le galvanomètre

Les bobines sont reliées à un galvanomètre KIPP-ZONEN type A 54. Ce dernier est muni d'un shunt magnétique dont la position est réglée de façon à obtenir un maximum de sensibilité, en même temps qu'un amortissement voisin de l'amortissement critique.

On peut modifier la sensibilité de l'inductomètre par un shunt électrique branché aux bornes du galvanomètre. (Photo N°5)

## III. Qualités de l'appareil

### III. 1 - Uniformité du champ

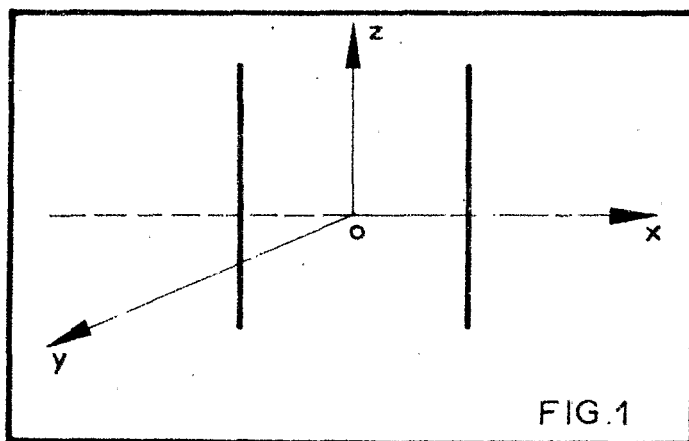
E. THELLIER (1) avait montré que la qualité importante que doit avoir un inductomètre est que :

la composante  $H_x$  (suivant l'axe des bobines) du champ, soit constante dans tout le volume de l'échantillon, et de plus, que la composante transversale  $H_z$  soit petite.

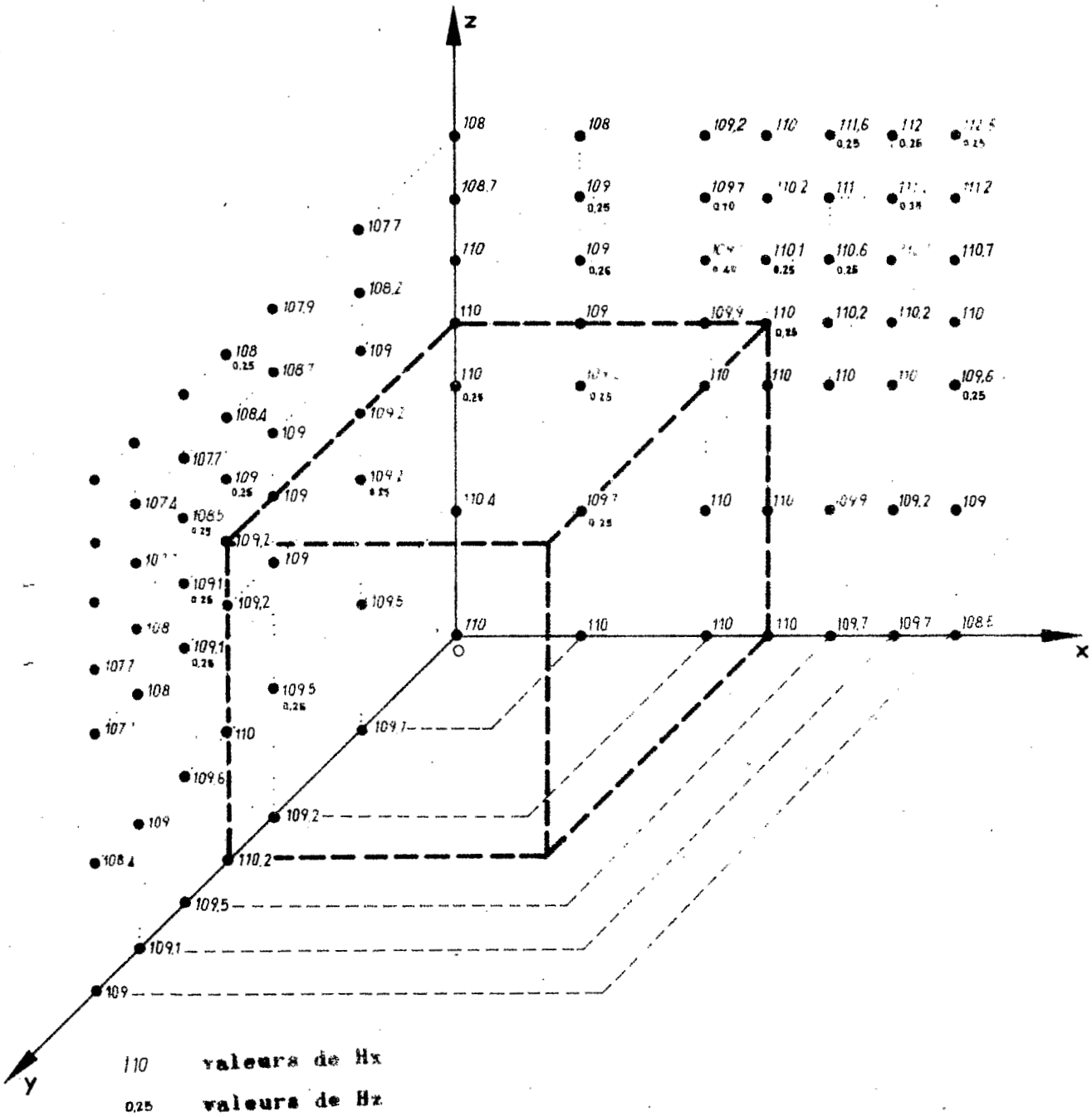
Par raison de symétrie, si le champ est uniforme dans le quart du volume, il l'est dans le volume tout entier.

Pour étudier l'uniformité du champ, nous avons repris l'expérience décrite par cet auteur :

Une petite bobine placée d'abord avec son axe suivant l'axe  $Ox$  de l'inductomètre et ensuite suivant la verticale  $Oz$ , était déplacée de 2cm en 2cm, puis de centimètre en centimètre, le long de  $Ox$ , de  $Oz$  et de  $Oy$ . (fig. 1). On notait chaque fois, la déviation provoqué au balistique par l'inversion d'un courant constant traversant la bobine.



Uniformité du champ: Valeurs de Hx et Hz déterminées expérimentalement



Cette série d'expériences permet d'étudier le champ en un point quelconque des plans  $xoz$  (perpendiculaire au plan des bobines) et  $yo z$  (parallèle au plan des bobines).

### Résultats :

Les expériences ont donné les valeurs ci-contre.

La valeur en 0, correspond au centre du système. Les valeurs "zéro" (non portées sur le tableau) indiquent que l'inversion du courant était ou sans effet sur le spot du galvanomètre, ou tout au plus, provoquait des déviations du spot inférieures au quart du millimètre.

De l'examen de ces résultats, il ressort les faits suivants :

- la composante  $H_x$  est pratiquement constante le long des trois axes  $ox$ ,  $oy$  et  $oz$
- la composante transversale  $H_z$  est nulle le long des axes  $ox$ ,  $oy$  et  $oz$ .
- dans un volume de rayon égal à 5 cm, la composante  $H_x$  est constante à moins de 1% près, de plus, la composante  $H_z$  est faible.

Par conséquent, la condition d'uniformité du champ peut être considérée comme remplie.

Les échantillons que nous utilisons, sont généralement des cubes dont le côté ne dépasse jamais 9 cm; par conséquent le volume utilisable possède bien les qualités requises.

### III. 2 - Sensibilité.

Une bobine de surface connue  $S$  est placée au centre du système avec son axe dirigé suivant celui des bobines.

La bobine que nous utilisons a les caractéristiques suivantes :

- diamètre intérieur : 49,3 mm
- diamètre extérieur : 50,2 mm
- longueur : 35 mm
- nombre de spires : 51 en une seule couche
- surface : 991,4 cm<sup>2</sup>

...

Parcourue par un courant de 15 mA, son moment magnétique est

$$991,4 \times 15 \cdot 10^{-4} \text{ uém.}$$

Le courant  $i$  étant établi, on l'inverse, la déviation obtenue correspond au renversement du moment  $S_i$ .

La proportionnalité des déviations aux moments est bonne sur toute l'étendue de l'échelle de lecture.

Des étalonnages mensuels font apparaître une légère variation de la sensibilité. On peut néanmoins considérer la fidélité de l'appareil comme bonne.

Il est parfois nécessaire de réduire la sensibilité de l'appareil. Nous utilisons pour cela, un shunt électrique, branché aux bornes du galvanomètre. Bien entendu, un étalonnage est fait pour chaque position du shunt.

Remarque - Un étalonnage pour chaque position du shunt est d'autant plus nécessaire, que les déviations du spot du galvanomètre ne varient pas linéairement avec la position du shunt.

Nous verrons de plus que l'emploi du shunt introduit une légère différence entre les résultats.

#### IV. Mesure d'une aimantation rémanente

##### IV. 1 - Méthode de mesure

La détermination du moment magnétique d'un échantillon est faite par méthode de déviation.

Supposons que l'on cherche à déterminer (en intensité et en direction) l'aimantation d'un échantillon de roche de forme cubique. Il faut pour cela, mesurer ses trois composantes  $M_x$ ,  $M_y$  et  $M_z$  suivant trois axes rectangulaires liés à l'échantillon.

Par rotation de  $180^\circ$  autour de l'axe  $Oz$  de l'échantillon par exemple, la composante d'aimantation  $M_x$  est renversée et on la mesure par la variation de flux provoquant la déviation du spot du galvanomètre.

En fait, on ne mesure pas directement les composantes  $M_x$ ,  $M_y$  et  $M_z$ , mais plutôt les trois résultantes  $\vec{R}_{xy}$ ,  $\vec{R}_{xz}$  et  $\vec{R}_{yz}$ .

...

Pour cela l'échantillon est placé dans le centre du système suivant les trois positions suivantes :

1°) Oz suivant l'axe de rotation et Ox suivant l'axe des bobines.

On mesure :

$$\vec{R}_{xy} = \vec{M}_x + \vec{M}_y$$

par la déviation-a-du spot du galvanomètre.

2°) Oy suivant l'axe de rotation et Oz suivant l'axe des bobines.

On mesure :

$$\vec{R}_{xz} = \vec{M}_x + \vec{M}_z$$

par la déviation-b-du spot du galvanomètre.

3°) Ox suivant l'axe de rotation et Oy suivant l'axe des bobines.

On mesure :

$$\vec{R}_{yz} = \vec{M}_y + \vec{M}_z$$

par la déviation-c-du galvanomètre.

Ces trois équations fournissent tous les éléments permettant la détermination de  $\vec{M}$ .

#### IV. 2 - Orientation de l'échantillon

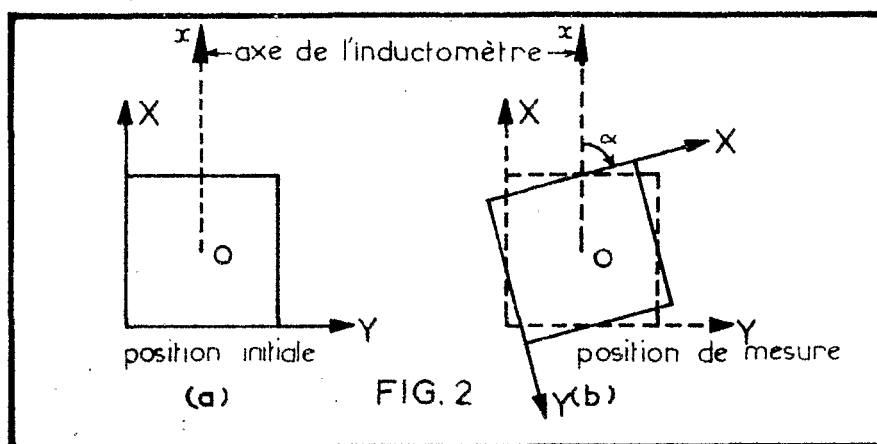
La méthode de mesure adoptée suppose une orientation particulière de l'échantillon : la résultante à mesurer doit se trouver suivant l'axe du champ, c'est-à-dire suivant l'axe de l'inductomètre (nous admettons en effet que les bobines sont construites de telle façon que leur axe géométrique coïncide exactement avec leur axe magnétique).

On y arrive par tâtonnements. L'échantillon est placé dans le centre de l'appareil avec son axe ox par exemple, dirigé suivant celui des bobines (fig. 2a). On le fait ensuite tourner lentement dans le sens des aiguilles d'une montre, en suivant le déplacement du spot du galvanomètre. Celui-ci change de sens, lorsque la résultante  $\vec{R}_{xy}$  passe par l'axe de l'appareil (fig. 2b). Après avoir repéré cette position sur le cadran gradué, on fait subir à l'échantillon

...

de petites rotations autour de cette position. La position de mesure est celle pour laquelle, une petite rotation de l'échantillon demeure sans effet sur le spot du galvanomètre.

Le système mobile étant bloqué à la position ainsi déterminée, on retourne l'échantillon de  $180^\circ$ .



#### IV. 3 - Effet de la vitesse de retournement

Lorsque la résultante à mesurer n'est pas exactement parallèle à l'axe du système, on observe, en retournant l'échantillon, que le spot du galvanomètre subit, avant d'aller franchement à droite ou à gauche, un léger va-et-vient initial. On observe en outre une légère dissymétrie dans les déviations droite et gauche.

Une légère retouche de la position de l'échantillon est suffisante, dans la majorité des cas, pour supprimer ce phénomène.

La vitesse de retournement à l'aller peut être différente de celle du retour. On observe également dans ce cas, une dissymétrie dans les déviations droite et gauche. Cependant lorsque l'opérateur est bien entraîné, les déviations obtenues sont presque toujours symétriques.

#### IV. 4 - Exemple de mesure

S<sub>0</sub> it à déterminer, l'aimantation de l'échantillon E<sub>5-4</sub>. L'échantillon de forme cubique est successivement placé suivant les positions indiquées plus haut.

- dimensions de l'échantillon : 5 x 5 x 5 cm
- volume de l'échantillon : 125 cm<sup>3</sup>
- masse de l'échantillon : 330 g.
- déviation en millimètres : R<sub>xy</sub> = 94; R<sub>xz</sub> = 104; R<sub>yz</sub> = 73,5

Comme il n'y a pas eu changement de sensibilité au cours des mesures.

les calculs peuvent se faire en déviations

$$R_{xy}^2 = X^2 + Y^2 = 94^2 = 8.836$$

$$R_{xz}^2 = X^2 + Z^2 = 104^2 = 10.816$$

$$R_{yz}^2 = Y^2 + Z^2 = 73,5^2 = 5.402,25$$

$$2M^2 = 2(X^2 + Y^2 + Z^2) = 25.054,25$$

d'où  $M^2 = 12.527,125$  et  $M = 111,92$  mm de déviation.

Les trois composantes sont :

$$Z^2 = 25.054,125 - 8.836 = 3.692,125 \quad \text{d'où } Z = 60,75$$

$$Y^2 = 25.054,125 - 10.816 = 1.711,125 \quad Y = 41,37$$

$$X^2 = 25.054,125 - 5.402,25 = 7.124,875 \quad X = 84,41$$

D'après l'étalonnage la valeur du moment est :

$$137,2 \cdot 10^{-4} \times 111,92 = 15.355,4 \cdot 10^{-4} \text{ uém (1,536 uém)}$$

L'intensité d'aimantation est donc :

$$\frac{M}{v} = \frac{1,535}{125} = 122,8 \cdot 10^{-4} \text{ uém.}$$

et l'aimantation spécifique :

$$\frac{M}{m} = \frac{1,535}{330} = 46,5 \cdot 10^{-4} \text{ uém.}$$

En direction

l'inclinaison de l'aimantation est telle que :

$$\begin{aligned} \text{tg.} I &= Z / (X^2 + Y^2)^{\frac{1}{2}} \\ &= 60,7 / 94 \quad \text{d'où } I = 32,9 \end{aligned}$$

...

Si l'axe Ox de l'échantillon était dirigé suivant le Nord géographique, la déclinaison de l'aimantation serait telle que :

$$\text{tg.} D = \text{tg.} \alpha = Y/X$$

Souvent l'axe Ox de l'échantillon n'est pas dirigé suivant le Nord géographique mais fait avec celui-ci un angle connu  $\alpha'$ . Dans ce cas la déclinaison de l'aimantation sera :

$$D = \alpha + \alpha'$$

#### IV. 5 - Deuxième méthode de mesure

Il existe une méthode de mesure plus rapide. Elle consiste à déterminer expérimentalement les directions de l'aimantation (D et I).

##### IV. 5.1 - Détermination de D.

La détermination de D découle directement de l'orientation initiale de l'échantillon. Nous avons vu en effet que la mesure de  $\vec{R}_{xy}$  nécessite sa mise en coïncidence avec l'axe de l'appareil. Initialement l'échantillon est placé dans l'appareil, avec son axe Ox dirigé suivant l'axe des bobines (fig. 2a). Lorsque la déviation du spot change de sens,  $\vec{R}_{xy}$  est dirigé suivant l'axe de l'inductomètre. L'angle lu sur le cadran gradué mesure donc l'angle fait par l'axe de l'inductomètre avec l'axe Ox de l'échantillon (fig. 2b) ou encore l'angle que fait  $\vec{R}_{xy}$  avec l'axe Ox de l'échantillon. Par conséquent si l'axe Ox de l'échantillon était dirigé suivant le Nord géographique, l'angle lu donne directement la déclinaison de l'aimantation de l'échantillon. Dans le cas contraire, la déclinaison sera égale à l'angle lu, auquel on ajoute algébriquement l'azimut connu de l'axe Ox de l'échantillon.

##### IV. 5.2 - Détermination de I.

Lorsque la coïncidence entre  $\vec{R}_{xy}$  et l'axe de l'inductomètre est réalisée, on matérialise la direction de  $\vec{R}_{xy}$  sur la face xOy de l'échantillon.

On retourne ensuite l'échantillon de façon à amener la trace de  $\vec{R}_{xy}$  et l'axe Oz de l'échantillon, dans un même plan horizontal. De ce fait le vecteur aimantation rémanente naturelle de l'échantillon se trouve dans un plan horizontal.

Comme il a été fait pour  $\vec{R}_{xy}$ , on amène le vecteur aimantation en coïncidence avec l'axe de l'appareil. Lorsque la coïncidence est réalisée, l'angle lu

...

permet cette fois de déterminer l'angle que fait le vecteur  $\vec{M}$  avec le plan horizontal, c'est-à-dire, l'inclinaison de l'aimantation de l'échantillon.

Pour déterminer la valeur du moment, on retourne l'échantillon de  $180^\circ$  à partir de la position que l'on vient de définir.

Le calcul est ici plus simple, car il est réduit au calcul de  $M$  en fonction de l'étalonnage. Les angles  $D$  et  $I$  sont déterminés expérimentalement.

Cette deuxième méthode est cependant moins précise, notamment lorsque l'échantillon à étudier est faiblement aimanté.

En effet, l'expérience montre que dans ce cas, l'angle n'est déterminé qu'à  $\pm 10^\circ$  près, parfois plus, une petite rotation de  $20^\circ$  autour de  $\alpha$  reste sans effet, sur le spot du galvanomètre.

Pour cette raison, nous n'utilisons que la première méthode de mesure.

#### V. Reproductibilité des mesures

Les erreurs de mesure peuvent avoir plusieurs sources :

- contrage de l'échantillon
- orientation de l'échantillon
- vitesse de retournement
- lecture des déviations du spot du galvanomètre.

Des erreurs peuvent également provenir de la méthode de mesure elle-même ou du circuit de mesure utilisé.

Le nombre et la complexité des facteurs qui interviennent et qui sont plus ou moins contrôlables, rendent pratiquement impossible l'évaluation théorique exacte de la précision avec laquelle les mesures sont obtenues.

L'étude de la précision peut cependant être ramenée à celle de la reproductibilité des mesures.

Si  $N$  représente le nombre des mesures effectuées, les  $N$  valeurs du moment ou de la direction d'aimantation, ne seront pas toutes égales, mais vont varier autour d'une valeur moyenne ou d'une direction moyenne.

Si l'échantillon est suffisamment stable au point de vue magnétique et si la durée des mesures n'est pas trop longue, l'effet d'un traînage éventuel dans le champ magnétique terrestre est peu probable, en tout cas, peut être négligé.

...

Les dispersions observées peuvent alors être attribuées aux erreurs de mesure seules. Elles seront définies par l'écart entre les observations individuelles et la valeur moyenne, qui pourra être considéré comme un ordre de grandeur de l'erreur commise, puisque les mesures sont faites sur un même échantillon.

Ainsi dans le cas de N observations, l'ordre de grandeur de l'erreur peut être défini par la déviation moyenne :

$$dm = \sum \frac{(M - \bar{M})}{N}$$

ou mieux, par l'écart-type :

$$\sigma = \left[ \frac{\sum (M - \bar{M})^2}{N-1} \right]^{1/2}$$

où M désigne le moment considéré et  $\bar{M}$ , la moyenne des N moments.

En ce qui concerne les directions d'aimantation, auxquelles on s'intéresse surtout dans une étude paléomagnétique, les dispersions peuvent être définies par le paramètre  $k (= N-1/N-R)$  de FISHER (2). Si les N directions sont bien groupées autour de leur moyenne, la valeur du coefficient k sera élevée.

Pour une distribution "fishérienne", CREEER, IRVING, NAIRN (3) ont montré que l'amplitude de la déviation angulaire peut être précisée par la relation :

$$\theta_0 = (2/k)^{\frac{1}{2}} \text{ radians ou } 81/(k)^{\frac{1}{2}} \text{ degrés.}$$

Une autre formule a été proposée par WILSON (4)

Elle ne nécessite aucune hypothèse sur la distribution des directions. On détermine la direction moyenne des N directions, de la même façon que dans la méthode de FISHER, et l'amplitude de la dispersion angulaire est telle que :

$$\xi = \arccos \frac{R}{N}$$

Les résultats obtenus par l'une ou l'autre formule ne présentent pas de différence notable.

#### V. 1 - Exemples numériques

Dans les exemples qui suivent, les mesures ont été répétées 7 fois. Après chaque mesure, l'échantillon a été retiré de l'appareil et chaque fois la valeur et la direction de son aimantation ont été déterminées.

...

Les échantillons choisis pour cette série d'expériences proviennent de la région de BETAFO-ANTSIRABE (B89-6), de MANAMANA (D45-2) et de la Montagne d'AMBRE (827-I et 827-4). La stabilité magnétique de ces échantillons a été établie au cours des études antérieures, par désaimantation progressive dans des champs alternatifs.

Il était surtout intéressant d'avoir l'ordre de grandeur des dispersions pour les échantillons faiblement aimantés, c'est pourquoi, trois des échantillons choisis ont des moments magnétiques inférieurs à l'unité (B89-6; 827-4 et D45-2).

### Résultats

#### 1°) Echantillon B 89-6

Moment moyen :  $\bar{M} = 0,078$  uém

déviations moyenne  $d_m = 0,002$  soit 2,6%

écart-type  $e = 0,002$  soit 2,6%

Direction d'aimantation :

$$\alpha = -9;6 \quad (\alpha = \text{arc. tg. } \frac{Y}{X})$$

$$I = -41;7 \quad (I = \text{arc. tg. } Z / (X^2 + Y^2)^{\frac{1}{2}})$$

$$k = 839,16$$

$$\theta_0 = 81 (k)^{\frac{1}{2}} = 2;8$$

$$\hat{c} = \text{arc cos } R/N = 2;6$$

#### 2°) Echantillon 827-4

Moment moyen :  $\bar{M} = 0,384$  uém.

déviations moyenne  $d_m = 0,002$  soit 0,5%

écart-type  $e = 0,004$  soit 1,0%

Direction d'aimantation :

$$\alpha = 77;1$$

$$I = -31;9$$

$$k = 2068,96$$

$$\theta_0 = 81 (k)^{\frac{1}{2}} = 1;8$$

$$\hat{c} = \text{arc cos } R/N = 1;6$$

...

3°) Echantillon D-45-2Moment moyen  $\bar{M} = 0,541$  uém.déviatation moyenne :  $d_m = 0,004$  soit 0,7%écart-type :  $e = 0,005$  soit 0,9%

Direction d'aimantation :

$$\alpha = -10,2$$

$$I = -23,3$$

$$k = 3680,98$$

$$\theta_0 = 81/(k)^{\frac{1}{2}} = 1,3$$

$$\delta = \text{arc cos } R/N = 1,2$$

4°) Echantillon 827-IMoment moyen  $\bar{M} = 3,220$  uém.déviatation moyenne :  $d_m = 0,009$  soit 0,3%écart-type :  $e = 0,014$  soit 0,4%

Direction d'aimantation :

$$\alpha = 73,3$$

$$I = -36,9$$

$$k = 8450,70$$

$$\theta_0 = 81/(k)^{\frac{1}{2}} = 0,9$$

$$\delta = \text{arc cos } R/N = 0,8$$

Ces exemples montrent que les valeurs de  $\theta_0$  et de  $\delta$  sont effectivement peu différentes les unes des autres. La relation proposée par WILSON semble toutefois donner une précision plus forte.

On note également que l'amplitude de la dispersion dépend, comme l'on devait s'y attendre, de la valeur de l'aimantation : plus l'aimantation est forte, moins la dispersion est grande.

Les valeurs ci-dessus sont vraisemblablement plus faibles que les dispersions vraies. En effet, les conditions normales de mesure sont tout à fait différentes de celles décrites ci-dessus. Il paraît néanmoins raisonnable d'après les résultats ci-dessus, de prendre comme limite de la dispersion 3° en direction et 3% en moment.

...

## V. 2 - Influence du shunt électrique

Il est parfois nécessaire de réduire la sensibilité de l'inductomètre. Pour cela, on branche un shunt électrique, aux bornes du galvanomètre.

On constate cependant que l'emploi d'un shunt, affecte les résultats des mesures. Pour un même échantillon, en effet, les valeurs déterminées avec et sans shunt aux bornes du galvanomètre, présentent un certain écart entre elles.

Nous allons essayer de déterminer l'ordre de grandeur de l'écart par l'étude de deux exemples.

L'aimantation d'un échantillon est mesurée plusieurs fois, en modifiant chaque fois la position du shunt électrique (par exemple, en donnant à ce dernier, les positions les plus couramment utilisées). Les valeurs obtenues, sont ensuite comparées avec la valeur observée en l'absence de shunt.

### Résultats

Les tableaux ci-dessous exposent les valeurs trouvées expérimentalement.

Les valeurs exposées sur les premières lignes proviennent des résultats obtenus dans le paragraphe précédent.

AM,  $\Delta \times$  et AI représentent les écarts entre ces moyennes et les quantités homologues déterminées pour chaque position du shunt électrique.

#### a) Cas d'un échantillon peu aimanté D-45-2

	M uém.	AM	$\times$	$\Delta \times$	I	AI
sans shunt	0,541		- 10,2		- 23,3	
1ère position du shunt	0,538	- 0,6%	- 10,3	- 0,1	- 22,9	- 0,4
2ème position du shunt	0,537	- 0,7%	- 12,9	- 2,7	- 22,5	- 0,8
3ème position du shunt	0,538	- 0,6%	- 9,7	+ 0,5	- 26,0	- 2,7
4ème position du shunt	0,537	- 0,6%	- 9,7	+ 0,5	- 23,1	+ 0,2

...

b) Cas d'un échantillon fortement aimanté 827-1

	M uém.	AM	$\lambda$	$\Delta \lambda$	I	AI
sans shunt	3,220		73°3		- 36°9	
1ère position du shunt	3,236	+ 0,7%	73°3	0	- 37°1	- 0°2
2ème position du shunt	3,226	+ 0,2%	72°0	- 1°3	- 36°3	+ 0°6
3ème position du shunt	3,189	- 1,0%	72°1	- 1°2	- 37°1	- 0°2
4ème position du shunt	3,179	- 1,3%	73°0	- 0°3	- 37°6	- 0°7

Ces exemples montrent qu'il existe un certain écart entre les valeurs obtenues. L'écart reste cependant faible, il ne dépasse pas 1%, en moment, et reste souvent inférieur à 2° en direction.

Néanmoins, il est toujours recommandé, notamment pendant les expériences de désaimantation par champs alternatifs, de garder la même sensibilité, dans la mesure du possible, afin d'éviter des dispersions supplémentaires.

VI - Comparaisons avec d'autres appareils

Trois échantillons, étudiés avec l'inductomètre SERCEL de St Maur, ont été repris et examinés avec notre appareil.

La comparaison a donné les résultats suivants :

Echantillons	Moment en uém		AM	$\lambda$		$\Delta \lambda$	I		AI
	St Maur	Tana		St Maur	Tana		St Maur	Tana	
B-89-6	0,078	0,078	0	- 10°5	- 9°6	+ 0°9	- 40°3	- 41°7	- 1°4
D-92-4	0,179	0,177	- 1,1%	34°0	36°2	+ 2°2	68°5	65°6	- 2°9
D-45-2	0,533	0,541	+ 1,5%	- 11°0	- 10°2	+ 0°8	- 22°6	- 23°3	- 0°7

L'examen de ce tableau montre que les deux appareils donnent sensiblement les mêmes valeurs : l'écart observé en valeur de moment reste inférieur à 2%, il est de l'ordre de 3° en direction.

Remarque - L'inductomètre BELLEVUE de St Maur et celui de Tananarive donnent exactement la même valeur pour l'échantillon D45-2.

## B. L'APPAREIL DE DESAIMANTATION

La désaimantation progressive d'un échantillon de roche, dans des champs alternatifs, permet souvent de séparer les unes des autres, les différentes composantes de son aimantation rémanente naturelle.

Le principe de la désaimantation peut se résumer ainsi :

Si on soumet un échantillon de roche à un champ alternatif  $H_i$ , que l'on annule progressivement, les composantes d'aimantation dont les champs coercitifs sont inférieurs à  $H_i$  vont disparaître.

Le même processus se répète, lorsque l'on augmente l'intensité du champ agissant.

Par conséquent les composantes à champs coercitifs faibles (ou composantes "molles") vont disparaître les premières, et la composante ayant le champ coercitif le plus élevé (composante la plus "dure") disparaît la dernière.

Dans notre système de désaimantation, le champ alternatif est obtenu à l'aide d'une bobine dont les caractéristiques sont :

- diamètre extérieur      41 cm
- diamètre intérieur      35 cm
- longueur du bobinage    35 cm
- nombre de spires        1.070 sp. réparties en 10 couches
- diamètre du fil          30/10

Pour se mettre le plus possible dans la condition de résonance, la self de la bobine est accordée sur 50 périodes avec 6 condensateurs FERRIX de 5  $\mu$ F chacun.

Un alternostat FERRIX, permet de faire varier la tension appliquée de 0 à 220 V.

Le champ appliqué est annulé progressivement, en déplaçant la bobine de champ le long de deux rails de 3 mètres environ de longueur. (Photo N° 6)

### I.- Etude de la dispersion introduite par la désaimantation

Si la désaimantation par champs alternatifs constitue un moyen efficace pour séparer l'aimantation stable, des aimantations secondaires, l'expérience montre cependant, que de nouvelles composantes parasites peuvent prendre naissance au cours de la désaimantation.

...

Ces aimantations parasites proviennent notamment

- des imperfections instrumentales
- de l'insuffisance de la compensation du champ terrestre.

Ces aimantations parasites peuvent parfois rendre difficile la recherche de la composante stable, ou même masquent celle-ci.

### I.1.- Imperfections instrumentales

J. AS et J.D.A. ZIJDERVELD (5) ont montré que des distorsions asymétriques dans le courant alternatif, peuvent créer des aimantations parasites. Ces distorsions sont dues aux harmoniques pairs qui doivent donc être filtrés. Par contre les harmoniques impairs, créant des distorsions symétriques ne provoquent aucune réaimantation accidentelle.

Dans notre système, la régulation du courant est obtenue avec un régulateur automatique VOLTREG. Cet appareil délivre une tension stabilisée à  $\pm 0,2\%$  et est munie d'un filtre d'harmonique, réduisant la distorsion globale à moins de  $2\%$ .

Il y a production uniquement d'harmoniques impairs.

En outre, les champs alternatifs de désaimantation sont dirigés suivant une direction fixe, qui est celle de l'axe de la bobine. L'efficacité du "lavage" va dépendre de l'angle que fait l'aimantation naturelle avec la direction du champ appliqué (6). Il est donc utile de faire agir le champ suivant plusieurs directions.

C'est pourquoi, pendant chaque opération de désaimantation, nous faisons tourner l'échantillon autour de deux axes perpendiculaires, à l'aide d'un dispositif spécial. L'échantillon est de ce fait, désaimanté suivant plusieurs directions (Photo N° 7).

### I.2.- Insuffisance de la compensation du champ terrestre

Si le champ magnétique terrestre est insuffisamment compensé, il y a une réaimantation accidentelle de l'échantillon. RIMBERT (6) a montré qu'il s'agit d'une aimantation anhystorétique due à la superposition du champ alternatif de désaimantation avec le résidu du champ terrestre.

Dans notre système la compensation du champ magnétique terrestre est obtenue à l'aide de deux bobines d'HELMHOLTZ dont les diamètres sont respectivement 120 cm et 140 cm. Le contrôle de la compensation est effectué avec un

Gaussmètre BELL type 620, muni d'une sonde "Magna Probe" M. 6001.

## II - Estimation de la dispersion introduite par la désaimantation

Malgré les précautions prises, la désaimantation peut néanmoins créer des dispersions supplémentaires dont il est utile de connaître l'ordre de grandeur. On peut étudier expérimentalement ces dispersions.

Un échantillon est désaimanté plusieurs fois dans le même champ alternatif, en modifiant chaque fois sa position initiale dans le porte échantillon tournant, par exemple, une fois, avec son axe  $Ox$  dirigé initialement suivant celui de la bobine et une deuxième fois, antiparallèlement.

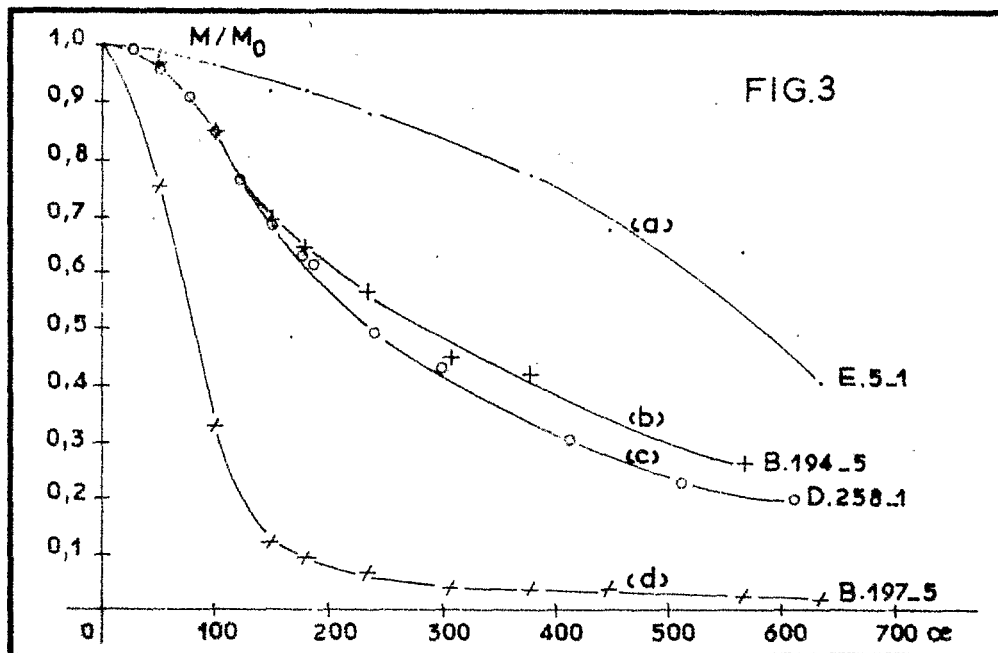
On procède de même avec  $Oy$  et  $Oz$ , pour les autres opérations.

Après chaque opération de désaimantation, la direction de l'aimantation résiduelle est déterminée. L'écart entre les observations individuelles et la moyenne des valeurs obtenues peut être considéré comme un ordre de grandeur de la dispersion introduite.

### Résultats

Les tableaux ci-dessous résument les valeurs trouvées expérimentalement pour trois catégories d'aimantation.

- aimantation "dure" : échantillon E<sub>5</sub>-4
- aimantation de "dureté" moyenne : échantillon D 258-3 et B 194-3
- aimantation de faible "dureté" : échantillon B 197-6.



Les courbes a b c d de la figure 3 illustrent le comportement vis-à-vis du champ alternatif des échantillons, E<sub>5</sub>-1, D 258-1 B-197-5 et B 194-5 appartenant aux mêmes blocs orientés que les échantillons considérés dans les expériences actuelles.

Dans ces tableaux : les lettres ont les significations suivantes :

$\bar{M}$  : moment moyen (en uém)

$M_0$  : moment magnétique naturel (en uém)

D, I: déclinaison et inclinaison de l'aimantation

k : paramètre de précision de FISHER ( $k = \frac{N-1}{N-R}$  avec  $N = 6$ )

$\theta_0$  : dispersion angulaire ( $\theta_0 = 81/k^{\frac{1}{2}}$ )

1°) Echantillon E<sub>5</sub>-4  $M_0 = 1.536$  uém  $D_0 = -50^{\circ}1$  et  $I_0 = -32^{\circ}9$

HO <sub>0</sub>	100	200	400	600
$\bar{M}$	1,514	1,374	0,979	0,493
D	- 48 <sup>°</sup> 7	- 47 <sup>°</sup> 3	- 46 <sup>°</sup> 1	- 44 <sup>°</sup> 3
I	- 28 <sup>°</sup> 9	- 17 <sup>°</sup> 2	- 27 <sup>°</sup> 2	- 19 <sup>°</sup> 8
k	25.000	16.667	757	485
$\theta_0$	0 <sup>°</sup> 5	0 <sup>°</sup> 6	2 <sup>°</sup> 9	3 <sup>°</sup> 7
$\bar{M}/M_0$	0,99	0,89	0,64	0,32

2°) Echantillon D 258-3  $M_0 = 8,868$  uém  $D_0 = 358^{\circ}3$   $I_0 = -48^{\circ}9$

HO <sub>0</sub>	100	200	400	600
$\bar{M}$	6,573	4,075	2,050	1,148
D	1 <sup>°</sup> 0	- 0 <sup>°</sup> 2	- 0 <sup>°</sup> 4	2 <sup>°</sup> 2
I	- 56 <sup>°</sup> 3	-54 <sup>°</sup> 6	-55 <sup>°</sup> 5	- 57 <sup>°</sup> 5
k	4.545	3.571	1.351	152
$\theta_0$	1 <sup>°</sup> 2	1 <sup>°</sup> 3	2 <sup>°</sup> 2	6 <sup>°</sup> 6
$\bar{M}/M_0$	0,74	0,46	0,23	0,13

3°) Echantillon B 197-6  $M_0 = 20,683$   $D_0 = -53^{\circ}3$   $I = 0^{\circ}$

HO <sub>0</sub>	100	200	400
$\bar{M}$	4,857	1,202	0,442
D	- 63 <sup>°</sup> 3	- 45 <sup>°</sup> 7	- 18 <sup>°</sup> 4
I	- 8 <sup>°</sup> 0	- 29 <sup>°</sup> 7	- 53 <sup>°</sup> 9
k	2.083	413	96
$\theta_0$	1 <sup>°</sup> 8	4 <sup>°</sup> 0	8 <sup>°</sup>
$\bar{M}/M_0$	0,23	0,06	0,02

...

4°) Echantillon B 194-3

$H_{0e}$	75	175	295
$\bar{M}$	0,512	0,363	0,179
D	- 10,99	- 11,91	- 8,96
I	- 31,92	- 31,94	- 28,98
k	6.250	806	182
$\theta_0$	1,90	2,98	6,90

Ces expériences montrent que des dispersions existent effectivement lorsqu'on soumet l'échantillon à une désaimantation par champs alternatifs. On peut cependant se demander si ces dispersions proviennent des aimantations accidentelles créées par le traitement, ou des erreurs de mesure, notamment dans les champs élevés où la valeur du moment résiduel peut devenir faible.

Il est donc intéressant de comparer ces résultats à ceux que nous avons obtenus au paragraphe V.1 du chapitre précédent, relatifs aux dispersions engendrées par les erreurs de mesure.

a) Cas de l'échantillon E<sub>5</sub>-4

Jusqu'à 200 Oe, les dispersions observées sont inférieures au degré, c'est-à-dire, en tenant compte de la valeur des moments résiduels, du même ordre de grandeur que celles qu'engendreraient les erreurs de mesure seules.

On ne peut donc pas conclure à la présence ou à l'absence d'aimantations parasites qui seraient dues à la désaimantation. En tout cas, si de telles aimantations existent, les dispersions introduites se confondent avec les dispersions créées par les erreurs de mesure.

Par contre lorsque le champ appliqué atteint et dépasse 400 Oe, les dispersions deviennent supérieures à celles dues aux erreurs de mesure. On peut considérer par conséquent, que la désaimantation crée des dispersions supplémentaires, qui augmentent d'ailleurs avec l'intensité du champ appliqué.

b) Cas de l'échantillon D 258-3

L'analyse des résultats relatifs à cet échantillon conduit aux constatations suivantes.

Jusqu'à 200 Oe, les dispersions observées sont légèrement supérieures à celles que l'on obtiendrait par des mesures répétées d'aimantation de même ordre de grandeur que celle de D 258-3.

...

La légère différence observée tend à prouver la présence de dispersions supplémentaires dues à la désaimantation. Elles sont néanmoins faibles.

La présence de dispersions supplémentaires qui sont venues s'ajouter à celles créées par les erreurs de mesure, est par contre fort probable, lorsque le champ appliqué dépasse 400 Oe.

c) Cas de l'échantillon B 197-6

Dans le cas actuel, la comparaison montre que la désaimantation entraîne des dispersions supplémentaires dès que le champ appliqué dépasse 100 Oe.

d) Cas de l'échantillon B 194-3

Dans le cas actuel, les intensités du champ appliqué sont différentes de celles des exemples précédentes.

Nous avons cherché à étudier par cet exemple, les dispersions créées par la désaimantation, lorsque l'aimantation est faible. L'échantillon B 194-3 a une aimantation de "dureté" comparable à celle de D 258-3 (fig. 3) mais d'intensité nettement plus faible.

Dans ce cas; la comparaison des résultats avec ceux du paragraphe V.1 du chapitre précédent, montre que les dispersions deviennent supérieures à celles que créeraient les erreurs de mesure seules, dès 175 Oe. Elles augmentent ensuite, comme dans les cas précédents, avec le champ appliqué.

### III. Conclusion

Ces diverses expériences tendent à montrer qu'à partir d'une certaine valeur du champ la désaimantation introduit des dispersions supplémentaires. Leur amplitude dépend de la "dureté" et de la grandeur de l'aimantation. Elle augmente avec l'intensité du champ appliqué.

Par suite de la diversité de la "dureté" et de la valeur de l'aimantation d'un échantillon de roche, il n'est cependant pas possible de définir la valeur exacte du champ à partir de laquelle, les aimantations accidentelles apparaissent. On peut cependant raisonnablement supposer que celles-ci n'ont lieu, qu'au-delà de 100 Oe pour les aimantations faibles et "molles" et au-delà de 200 Oe pour les autres sortes d'aimantation.

...

De même il n'est pas possible de séparer les dispersions dues à la désaimantation de celles que créent les erreurs de mesure.

Il faut noter en outre, que les conditions normales de mesure et d'expérience sont différentes de celles que nous avons décrites. Il en résulte que les dispersions, dans les conditions normales de mesure, sont vraisemblablement plus élevées. Cependant, il nous paraît raisonnable, d'après ces résultats d'expériences, de prendre  $\pm 5^\circ$  comme valeur limite de la dispersion totale, lors d'une désaimantation. De sorte que lorsque les fluctuations observées ne dépassent pas cette limite, nous admettons que l'aimantation considérée est stable.

BIBLIOGRAPHIE

1. E. THELLIER : Sur l'aimantation des terres cuites et ses applications géophysiques.  
Ann. de l'Inst. de Phys. du Globe, T. XVI, Paris
2. F.R.S. FISHER : Dispersion on a sphere  
Proc. Roy. Soc. London, A. 217, 1953
3. CREEER, IRVING, NAIRN : The paleomagnetism of the Great Whin Sill.  
Geoph. Journ., 2, 1959
4. R.L. WILSON : Remanent Magnetism of Late Secondary and Early Tertiary British Rocks.  
Phil. Mag. 11., 1959
5. J.A. AS et J.D.A. ZIJDERVELD : Magnetic cleaning of rocks in Palcomagnetic research.  
Geoph. Journ., 1, 1958
6. F. RIMBERT : Contribution à l'étude de l'action de champs alternatifs sur les aimantations rémanentes des roches.  
Rev. de l'Inst. français du pétrole, 1959.

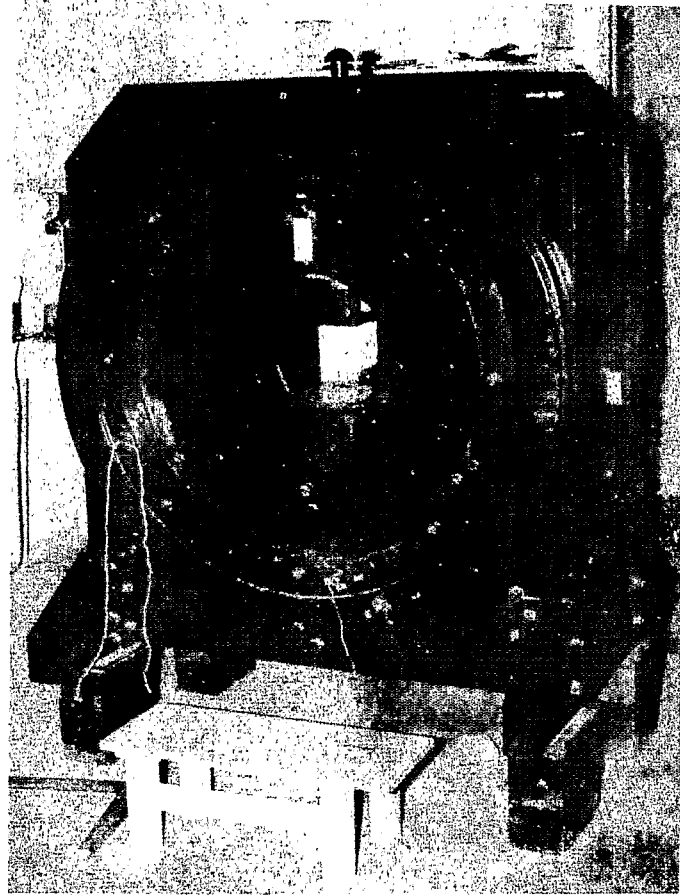
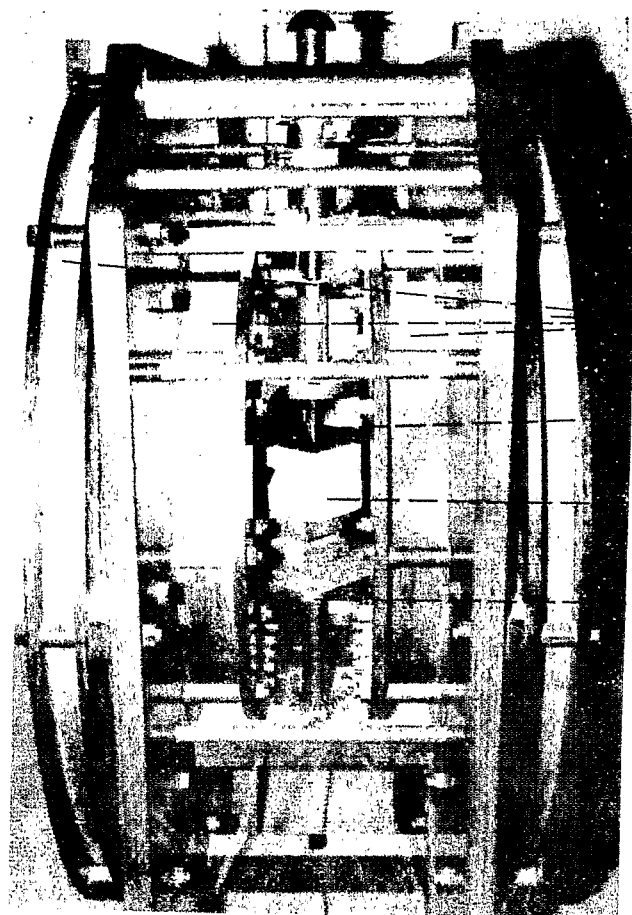


Photo N°1 : vue montrant l'inductomètre



Bobines d'Helmholtz.

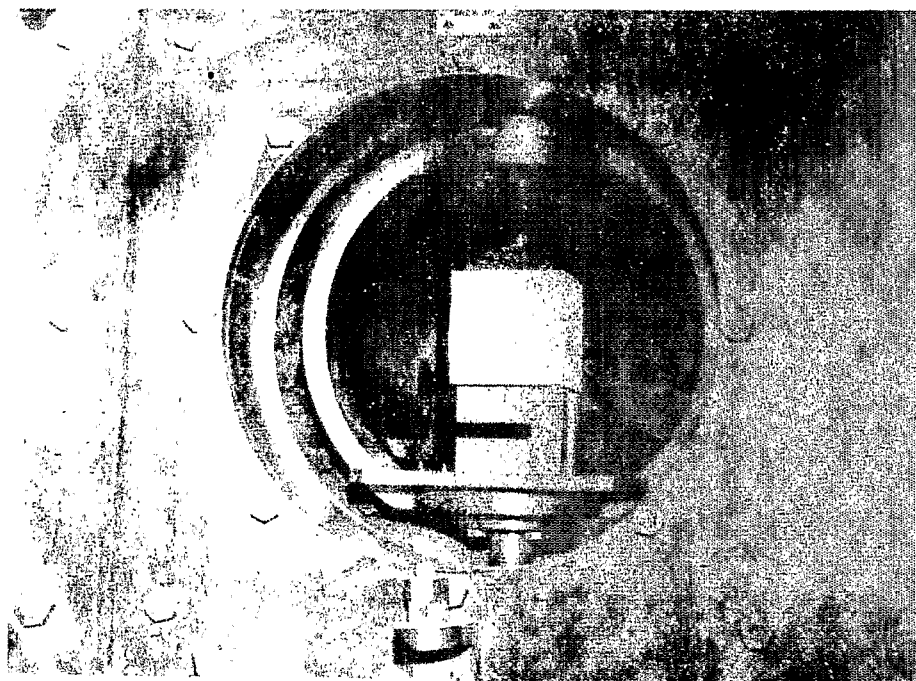
dispositif à vis

échantillon

plateau porte échantillon

Photo n°2 : vue montrant le dispositif de retournement

Photo n°3: vue montrant  
l'échantillon placé  
dans le volume à  
champ uniforme de  
l'inductomètre



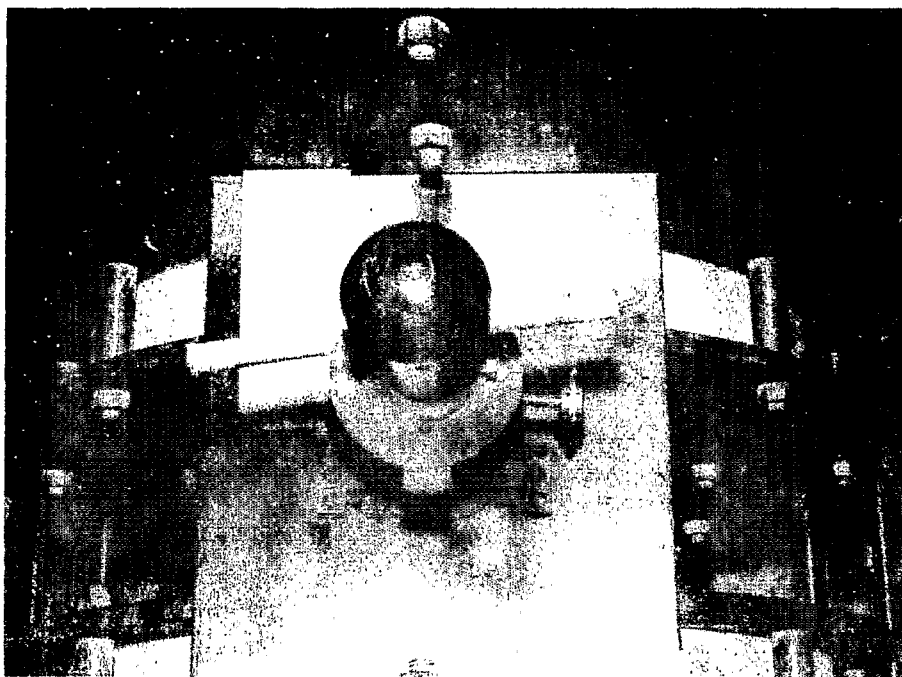


Photo n° 1 : vue montrant le cadran gradué pour le repérage  
de la position de l'échantillon

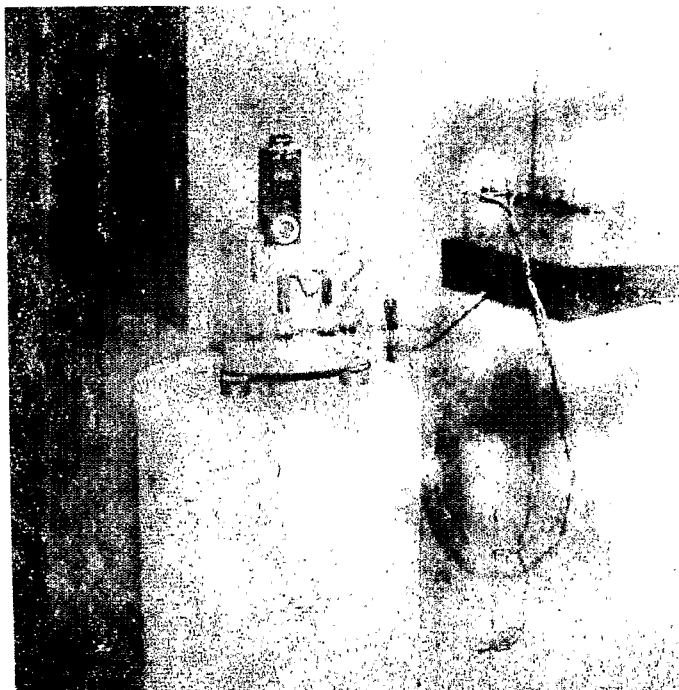


Photo n°5 : vue montrant le galvanomètre et son shunt électrique

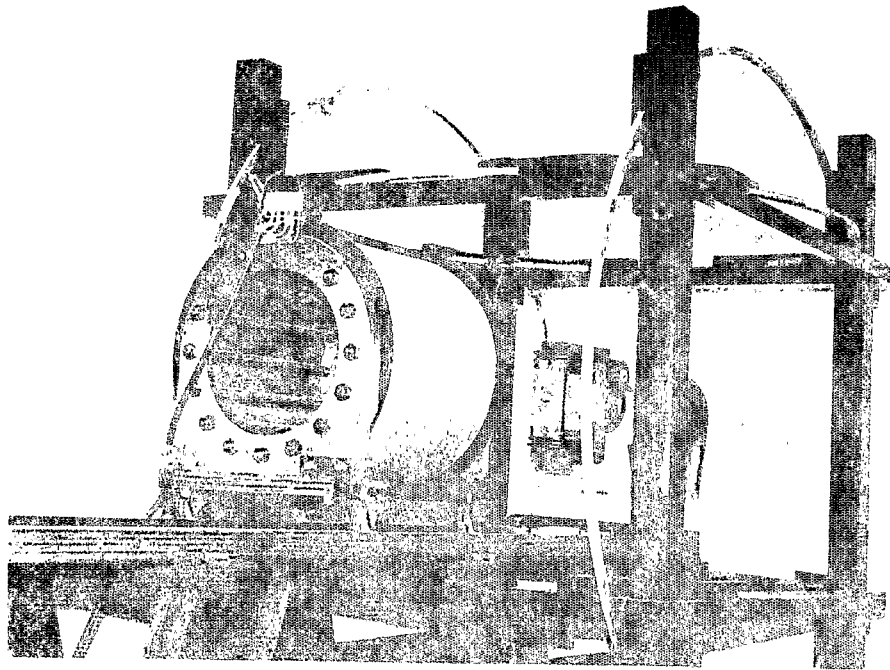


Photo n° 6 : vue générale d'appareil de préparation  
par charge alternative.

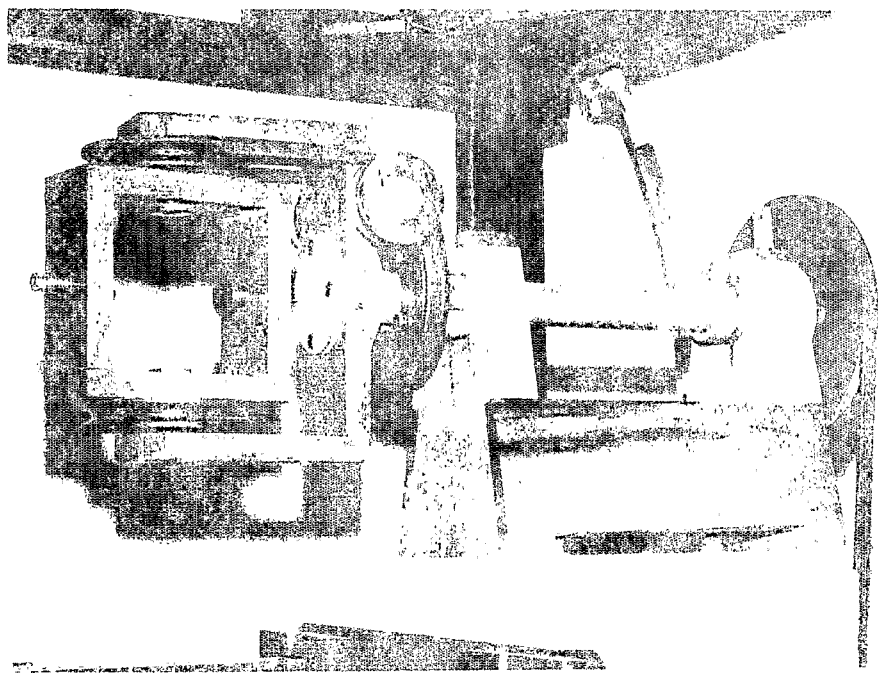


Photo n° 7 : vue monteur de l'unité de charge alternative