

TESIS

ROTHE



THESES

1937



87

TESIS-BCCT

UNAM



INSTITUTO DE GEOLOGIA
BIBLIOTECA

I-56

87

SÉRIE A N° 1672
N° D'ORDRE
2538

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHY.

PAR

J.-P. ROTHÉ

Assistant à la Faculté des Sciences de Strasbourg

1^{re} THÈSE — Contribution à l'étude des anomalies
du champ magnétique terrestre.

2^e THÈSE — Propositions données par la Faculté.

Soutenues le 1937 devant la commission d'examen

MM. CH. MAURAIN	Président.
JACOB	} Examineurs.
LABROUSTE	

PARIS (V^e)

LES PRESSES UNIVERSITAIRES DE FRANCE
49, Boulevard Saint-Michel, 49

*Institut géologique
du Mexique
ouvrage de l'auteur
J. Rothé*

76
08c

57

CLASIF. RXP 1937 I-3
ADQUIS. I-56
FECHA _____
PROCED. _____

A l'Institut géologique
du Mexique

Hommage de l'auteur

J. Motté

SÉRIE A N° 1672
N° D'ORDRE
2538

75

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES

PAR

J.-P. ROTHÉ

Assistant à la Faculté des Sciences de Strasbourg

1^{re} THÈSE — Contribution à l'étude des anomalies
du champ magnétique terrestre.

2^e THÈSE — Propositions données par la Faculté.

Soutenues le **1937** devant la commission d'examen

MM. CH. MAURAIN.....	Président.
JACOB	} Examinateurs.
LABROUSTE	



580

PARIS (V^e)
LES PRESSES UNIVERSITAIRES DE FRANCE
49, Boulevard Saint-Michel, 49

1937

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

MM.

Doyen honoraire M. MOLLIARD.
Doyen C. MAURAIN, *Professeur* Physique du Globe.

<i>Professeurs honoraires...</i>	H. LEBESGUE.	GOURSAT.	DANGEARD.
	A. FERNBACH.	GUILLET.	JANET.
	A. LEDUC.	PÉCHARD.	LESPIEAU.
	Émile PICARD.	FREUNDLER.	MARCHIS.
	Rémy PERRIER.	AUGER.	VESSIOT.
	Léon BRILLOUIN.	BLAISE.	PORTIER.

PROFESSEURS

G. BERTRAND.....	T	Chimie biologique.	M. JAVILLIER.....	T	Chimie biologique.
M. CAULLERY.....	T	Zoologie (Évolution des êtres organisés).	L. JOLEAUD.....		Paléontologie
G. URBAIN.....	T	Chimie générale.	ROBERT-LÉVY.....		Zoologie.
Émile BOREL.....	T	Calcul des probabilités et Physique mathématique.	F. PICARD.....		Zoologie (Évolution des êtres organisés).
Jean PERRIN.....	T	Chimie physique.	Henri VILLAT.....	T	Mécanique des fluides et applications.
H. ABRAHAM.....	T	Physique.	Ch. JACOB.....	T	Géologie.
E. CARTAN.....	T	Géométrie supérieure.	P. PASCAL.....	T	Chimie minérale.
M. MOLLIARD.....	T	Physiologie végétale.	M. FRÉCHET.....	T	Calcul différentiel et calcul intégral.
L. LAPICQUE.....	T	Physiologie générale.	E. ESCLANGON.....	T	Astronomie.
A. COTTON.....	T	Recherches physiques.	M ^{me} RAMART-LUCAS.....	T	Chimie organique.
J. DRACH.....	T	Analyse supérieure et Algèbre supérieure.	H. BÉGHIN.....	T	Mécanique physique et expérimentale.
Charles FABRY.....	T	Enseignement de Physique.	FOCH.....		Mécanique expérimentale des fluides.
Charles PÉREZ.....	T	Zoologie.	PAUTHENIER.....		Physique (P. C. B.).
Léon BERTRAND.....	T	Géologie structurale et géologie appliquée.	De BROGLIE.....	T	Théories physiques.
E. RABAUD.....	T	Biologie expériment.	CHRÉTIEN.....		Optique appliquée.
M. GUICHARD.....		Chimie minérale.	P. JOB.....		Chimie générale.
Paul MONTEL.....	T	Théorie des fonctions et Théorie des transformations.	LABROUSTE.....		Physique du Globe.
P. WINTREBERT.....	T	Anatomie et histologie comparées.	PRENANT.....		Zoologie.
L. BLARINGHEM.....	T	Botanique.	VILLEY.....		Mécanique physique et expérimentale.
O. DUBOSCQ.....	T	Biologie maritime.	BOHN.....		Zoologie (P. C. B.).
G. JULIA.....	T	Mécanique analytique et mécan. céleste.	COMBES.....		Botanique (P. C. B.).
C. MAUGUIN.....	T	Minéralogie.	GARNIER.....	T	Mathématiques générales.
A. MICHEL-LÉVY.....	T	Pétrographie.	PÉRÈS.....		Mécanique théorique des fluides.
H. BÉNARD.....	T	Mécanique expérimentale des fluides.	HACKSPILL.....		Chimie (P. C. B.).
A. DENJOY.....	T	Application de l'analyse à la géométrie.	LAUGIER.....		Physiologie générale.
L. LUFARD.....	T	Géographie physique et géologie dynamique.	TOUSSAINT.....		Technique Aéronaut.
Eugène BLOCH.....	T	Physique théorique et physique céleste.	M. CURIE.....		Physique (P. C. B.).
G. BRUHAT.....		Physique.	G. RIBAUD.....	T	Hauts températures.
E. DARMOIS.....		Physique.	CHAZY.....	T	Mécanique rationnelle.
A. DEBIERNE.....	T	Physique générale et radioactivité.	GAULT.....		Chimie (P. C. B.).
A. DUFOUR.....	T	Physique (P. C. B.).	CROZE.....		Recherches physiques.
L. DUNOYER.....		Optique appliquée.	DUPONT.....	T	Théories chimiques.
A. GUILLIERMOND.....	T	Botanique.	LANQUINE.....		Géologie.
			VALIRON.....		Mathématiques génér.
			BARRABÉ.....		Géologie structurale et géologie appliquée.
			MILLOT.....		Zoologie (P. C. B.).
			F. PERRIN.....		Théories physiques.
			VAVON.....		Chimie organique.
			G. DARMOIS.....		Calcul des probabilités et Physique mathématique.

Secrétaire A. PACAUD.
Secrétaire honoraire D. TOMBECK.

A MES PARENTS

Qui m'ont donné tant d'affection.

A M. CHARLES MAURAIN

Membre de l'Institut
Doyen de la Faculté des Sciences de l'Université de Paris

Hommage de ma profonde reconnaissance.

L'enseignement de géophysique appliquée de E. ROTHÉ à Strasbourg, les études de Magnétisme terrestre que M. le Doyen MAURAIN, président de la section de magnétisme terrestre de l'Union géophysique internationale, dirige à l'Université de Paris, forment les bases sur lesquelles j'ai fondé ce travail.

Ma gratitude va à mes maîtres, géographes, géologues et physiciens, à qui je dois ma formation. Je l'exprime tout particulièrement à M. MAURAIN qui, en 1930 d'abord puis en 1935, m'a permis de fréquenter son Institut. C'est lui aussi qui m'a fait désigner comme membre de l'Expédition française de l'Année Polaire 1932-1933 pendant laquelle j'ai pu accroître mes connaissances de géophysique et qui aujourd'hui m'a ouvert les Annales de l'Institut de Physique du Globe de Paris pour la publication de ce mémoire. Je le prie de recevoir l'expression de ma vive reconnaissance.

Je veux remercier aussi ses collaborateurs et en particulier M. EBLÉ, l'un des principaux auteurs du levé magnétique français, qui m'a fait profiter de sa connaissance approfondie des problèmes de magnétisme terrestre.

Enfin je remercie encore la Faculté des Sciences de Paris qui m'a attribué en 1935 une bourse Commercj, les membres du Conseil d'Administration de la Caisse Nationale des Sciences qui m'ont jugé digne d'une bourse pendant mon congé de 1935 et les membres de la Commission du legs Cunitz (Université de Strasbourg) qui m'ont facilité la publication des planches et figures.

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DES ANOMALIES DU CHAMP MAGNÉTIQUE TERRESTRE

INTRODUCTION

Le champ magnétique terrestre a fait l'objet, ces dernières années, de nombreuses recherches ⁽¹⁾ ; sa représentation est bien connue dans son ensemble grâce aux réseaux magnétiques établis par les différentes nations et dont le réseau français levé sous la direction de MM. MATHIAS et MAURAIN, constitue l'un des exemples les plus complets. Les cartes représentatives ont immédiatement fait apparaître des anomalies du champ magnétique : on a reconnu qu'une partie tout au moins d'entre elles pouvait être attribuée à des causes géologiques. L'interprétation des mesures magnétiques est ainsi apparue comme un procédé simple d'étude du sous-sol et comme l'une des méthodes commodes de la « prospection géophysique ». Les appareils ont été modifiés et rendus facilement transportables, des théories mathématiques ont été publiées pour aider à l'interprétation des mesures expérimentales. Mais le fait d'avoir eu en vue des buts exclusivement pratiques a souvent empêché les ingénieurs qui mettaient ces moyens en œuvre d'en publier et d'en critiquer scientifiquement les résultats. Au contraire la contribution que j'apporte ici a été conçue dans un but purement scientifique, celui d'étudier des anomalies magnétiques choisies comme exemples simples, typiques, sans intérêt pratique immédiat, mais permettant dans leur interprétation de montrer en quelle mesure s'appliquent les formules théoriques. L'imagination ou le désir « de faire donner à la méthode plus qu'elle ne le peut » ont, en géophysique, entraîné parfois à de réelles déconvenues. Aussi mes raisonnements seront-ils étayés par des tableaux de chiffres ou par des représentations cartographiques aussi nombreuses que possible. Il est vrai que dans certains pays étrangers, en Allemagne, en Angleterre, en U. R. S. S., plusieurs travaux ont déjà été publiés dans cet esprit : j'en comparerai au fur et à mesure du développement de mon exposé les résultats avec ceux que j'ai obtenus.

Il est évident qu'une telle étude doit être basée sur une connaissance complète et exacte des appareils employés. Dans le *chapitre I* je décrirai l'utilisation sur le terrain de l'instrument dont je me suis servi le plus généralement, le *variomètre de Schmidt-Askania*, destiné à la mesure de la composante verticale du champ. J'indiquerai les causes d'erreurs rencontrées, instrumentales et accidentelles. Des exemples numériques fixeront le lecteur sur la grandeur des effets mesurés.

Les anomalies magnétiques étudiées en prospection géophysique sont généralement locales, de faible étendue et en rapport immédiat avec certaines roches particulièrement magnétiques. Les exemples du *chapitre II*, choisis dans des régions diverses, appartiennent à cette catégorie. L'étude

(1) Les problèmes que pose le magnétisme terrestre ont été exposés récemment dans l'ouvrage suivant :
CH. MAURAIN. — *Magnétisme terrestre*, Actualités scientifiques et industrielles, série 287, fascicule 1, Hermann, Paris 1935.

des gisements de basalte d'Essey sera particulièrement développée à titre d'exemple de prospection et d'interprétation. Les basaltes d'Alsace fournissent des résultats opposés, dus à la forte *rémanence* que ces filons éruptifs présentent, permettant ainsi de différencier des roches aux caractères pétrographiques analogues.

Dans le chapitre III, au contraire, j'analyserai des exemples de prospection d'accidents géologiques en terrain sédimentaire : failles, anticlinal ; les conclusions de ce chapitre seront utilisées dans l'argumentation du chapitre IV, consacré à l'anomalie magnétique régionale du Bassin de Paris, dont j'ai, sur le conseil de M. le Doyen MAURAIN, exécuté une prospection détaillée. Les résultats de cette étude comparés aux mesures antérieures m'amèneront à conclure à une *déformation de l'anomalie*, sans doute en rapport avec des modifications du substratum profond, modifications dont les séismes sont une manifestation sensible.

Je remercie M. MAURAIN qui a bien voulu accepter que ce travail figure parmi les mémoires publiés dans les Annales de l'Institut de Physique du globe de Paris. Je lui en exprime toute ma reconnaissance.

Il ne saurait être question de publier ici une bibliographie complète sur les recherches magnétiques. Je me contenterai de renvoyer en note aux ouvrages et mémoires se rapportant directement aux sujets traités. Pour les revues souvent citées j'utiliserai les abréviations suivantes :

- A. I. M. E. American Institute of mining and metallurgical engineers, New-York.
 - B. a. G. Beiträge zur angewandten Geophysik, Leipzig.
 - B. C. M. Annales du Bureau Central Météorologique, Paris.
 - C. R. A. S. Comptes-rendus de l'Académie des Sciences, Paris.
 - G. B. Gerlands Beiträge zur Geophysik, Leipzig.
 - G. B. e. a. G. Gerlands Beiträge zur Geophysik, ergänzungshefte für angewandte Geophysik, Leipzig.
 - I. P. G. Institut de Physique du Globe (Paris ou Strasbourg).
 - Z. f. G. Zeitschrift für Geophysik.
-

CHAPITRE PREMIER

LE VARIOMÈTRE VERTICAL DE SCHMIDT SON UTILISATION SUR LE TERRAIN

Introduction. — Au cours des recherches sur le terrain que je poursuis depuis 1928, j'ai eu à ma disposition deux appareils : le variomètre de HAALCK et la balance de SCHMIDT. Le premier permet de déterminer en valeurs relatives, par des mesures rapides, la composante verticale et la composante horizontale du champ terrestre ; comme de plus on obtient au cours des mesures précédentes la direction du méridien magnétique, et qu'un petit théodolite permet de fixer celle du méridien géographique par visées sur des repères connus ou sur le soleil, la déclinaison magnétique est par là même calculée. J'ai fait une étude détaillée de cet appareil ⁽¹⁾ et indiqué des méthodes nouvelles pour l'analyse des résultats, mais cet instrument dont la conception est originale et la théorie intéressante, s'est malheureusement montré d'un usage délicat par suite des fortes variations résiduelles d'aimantation subies par les lamelles qui constituent le fléau oscillant ; les effets de la température sont complexes. La comparaison des résultats obtenus au cours d'une même prospection avec cet appareil et celui de SCHMIDT conduit à des divergences manifestes.

C'est pourquoi j'ai donné la préférence au second instrument et c'est seulement aux résultats obtenus en utilisant le variomètre vertical de SCHMIDT que je me référerai dans le présent mémoire, me réservant de revenir dans une autre publication sur la cause des divergences observées.

La balance verticale de SCHMIDT, décrite par son auteur en 1914, dérive directement de celles qu'on utilise dans les observations magnétiques (balance de LLOYD, MASCART, etc...) ; les transformations qu'elle a subies l'ont rendue facilement transportable et apte aux mesures sur le terrain. Sa théorie n'offre aucune ambiguïté. Son emploi présente sur celui de l'appareil HAALCK l'avantage d'une grande simplicité. Son faible poids permet un transport plus aisé. Il convient d'ajouter qu'elle ne donne la mesure que d'un élément magnétique : seules les variations de la composante verticale du champ magnétique seront donc étudiées dans ce travail.

Théorie simplifiée de la balance verticale. — Dans la balance de Schmidt, comme dans l'instrument plus ancien de Lloyd, un aimant ou un système de deux aimants parallèles peut osciller autour d'un axe horizontal $O\omega$ (arête de couteau d'agate ou de quartz), que l'on amène de préférence dans le plan du méridien magnétique. L'aimant est alors mobile dans le plan EW. Tout l'ensemble, aimant support, cage, etc. est en outre mobile autour d'un axe vertical OZ et sa position se repère sur un cercle horizontal azimutal.

(1) J. P. ROTHÉ. — *Sur l'usage du variomètre magnétique de Haalck et l'utilisation de procédés graphiques*, Annuaire I. P. G. Strasbourg, 1928, p. 99-105.

Ces conditions sont celles d'un réglage parfait ; en réalité il existe des défauts de réglage dont l'étude est possible ⁽¹⁾ et je supposerai d'abord que l'axe $O\omega$ n'est pas horizontal et fait avec l'axe OZ' (Z' vers le haut, négatif) l'angle i ; c'est aussi l'angle que fait avec le plan horizontal le plan dans lequel se meut l'aimant. Je désignerai par Ou l'axe Nord-Sud (ns) d'aimantation de l'équipage, par $O\varphi$ la perpendiculaire à Ou et $O\omega$; d'autre part je supposerai d'abord que $O\omega$ n'est pas dans le méridien et que le plan de déplacement de l'aimant a l'azimut α par rapport à un plan fixe ZOX , $\alpha = \widehat{TOX}$. La distance angulaire du pôle n par rapport à OT dans le plan de rotation de l'aimant sera désignée par γ .

Pour écrire l'équation d'équilibre de l'aimant, il faut chercher les moments de toutes les forces agissant sur le système, magnétiques et mécaniques, et écrire que la somme des moments par rapport à l'axe $O\omega$ est nulle. Les forces magnétiques sont des vecteurs parallèles au champ terrestre agissant en n et s . On peut prendre leurs composantes, verticale Z et horizontale H . Je supposerai que le plan ZOX est le plan du méridien. La composante H est donc dirigée suivant OY . Les seuls vecteurs qui

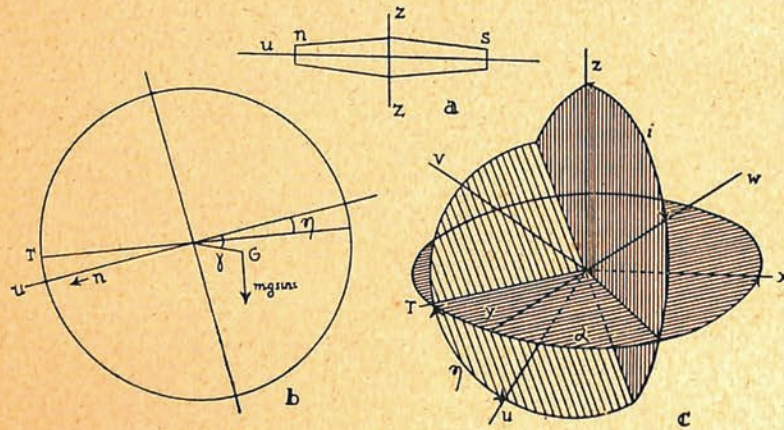


FIG. 1.
Théorie de la balance verticale.

peuvent intervenir dans le calcul sont les composantes magnétiques suivant $O\varphi$: en effet, l'aimant ne peut être entraîné ni longitudinalement suivant Ou , ni transversalement suivant $O\omega$ (fig. 1, b).

Les projections des composantes H et Z suivant $O\varphi$ s'obtiennent aisément par la considération de triangles sphériques : le premier, $OX\varphi T$, pour la projection de H :

$$\varphi_1 = H \cos O\varphi OX, \text{ ce qui s'écrit :}$$

$$\varphi_1 = H \left[\cos \alpha \cos \left(\frac{\pi}{2} - \eta \right) + \sin \alpha \sin \left(\frac{\pi}{2} - \eta \right) \cos i \right]$$

$$\varphi_1 = H (\cos \alpha \sin \eta - \sin \alpha \cos \eta \cos i).$$

Dans le triangle $OZ\varphi T$ on a de même pour la projection de Z :

$$\varphi_2 = Z \cos OZ O\varphi,$$

⁽¹⁾ C. A. HEILAND et DUCKERT. — *Beschreibung, Theorie und Anwendung einer Neukonstruktion von Ad. Schmidts Feldwage*, Z. für angew. Geophysik, vol. 1, 1924, p. 289-321.

Comme l'angle ZOT est droit on aura seulement

$$\nu_2 = Z \cos \eta \cos \left(i + \frac{\pi}{2} \right) = -Z \cos \eta \sin i.$$

D'où

$$\nu = \nu_1 + \nu_2 = H(\cos \alpha \sin \eta - \sin \alpha \cos \eta \cos i) - Z \cos \eta \sin i \quad (1).$$

Le moment magnétique dû à la composante ν est $\mathcal{M}_1 = M\nu$, si M désigne le moment magnétique total de l'équipage (on pourrait aussi écrire $2M$ pour mettre en évidence le moment de chacune des deux lamelles aimantées).

Pour calculer le moment de la pesanteur \mathcal{M}_2 on projette sur le plan de rotation le vecteur mg appliqué en G, centre de gravité. Cette projection a pour valeur absolue

$$mg \cos \left(\frac{\pi}{2} - i \right) = mg \sin i$$

et le moment \mathcal{M}_2 s'écrit :

$$\mathcal{M}_2 = -mg \sin i \times c \cos(\gamma - \eta). \quad (\text{fig. 1, c})$$

L'équilibre est réalisé si $\mathcal{M}_1 = \mathcal{M}_2$. D'où

$$\sin \eta (MH \cos \alpha + mg c \sin i \sin \gamma) = \cos \eta [MZ \sin i + MH \sin \alpha \cos i - mg c \sin i \cos \gamma].$$

En posant $c \cos \gamma = a$; $c \sin \gamma = b$, l'expression se met sous la forme :

$$\text{tg } \eta = \frac{MZ \sin i + MH \sin \alpha \cos i - mg a \sin i}{MH \cos \alpha + mg b \sin i}.$$

D'après la manière même dont les valeurs algébriques ont été comptées le centre de gravité doit être du côté du Sud et au dessous de l'axe de suspension.

Si $O\omega$ est horizontal, $i = \frac{\pi}{2}$ et la formule devient :

$$\text{tg } \eta = \frac{MZ - mg a}{MH \cos \alpha + mg b}.$$

Si d'autre part le plan d'oscillation est perpendiculaire au méridien, c'est-à-dire si $\alpha = \frac{\pi}{2}$

$$\text{tg } \eta = \frac{MZ - mg a}{mg b},$$

Dans ce cas la déviation de l'équipage ne dépend que de la composante verticale et elle est la même pour $\alpha = \frac{\pi}{2}$ et $\alpha = \frac{3\pi}{2}$.

(1) On peut envisager cette formule comme résultant d'un cas particulier d'une théorie plus générale (C. A. HEILAND, *Theory of Ad. Schmidt's Horizontal Field Balance*, A. I. M. E., Boston Meeting, 1928).

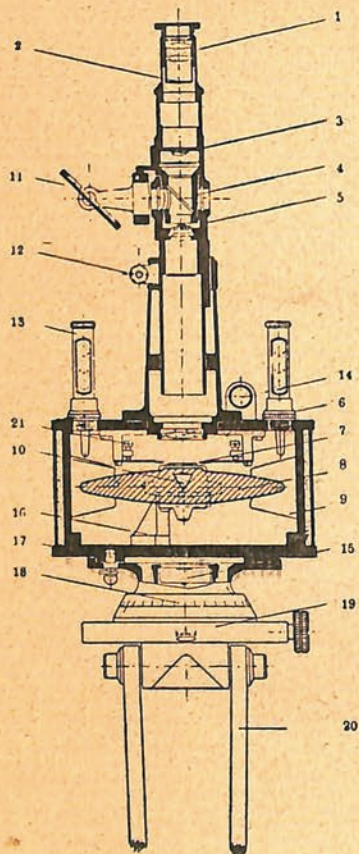
On envisage une aiguille aimantée mobile en tous sens autour d'un centre O de coordonnées XYZ, l'axe de l'aiguille coïncidant avec Ou. Un vecteur ayant pour composantes X, Y, Z, dans le premier système de coordonnées aura dans le système u, v, w , des composantes fournies par les formules classiques d'Euler.

$$\begin{aligned} u &= X(\cos \alpha \cos \eta + \sin \alpha \sin \eta \cos i) + Y(\sin \alpha \cos \eta - \cos \alpha \sin \eta \cos i) + Z \sin \eta \sin i \\ v &= X(\cos \alpha \sin \eta - \sin \alpha \cos \eta \cos i) + Y(\sin \alpha \sin \eta + \cos \alpha \cos \eta \cos i) - Z \cos \eta \sin i \\ w &= -X \sin \alpha \sin i + Y \cos \alpha \sin i + Z \cos i. \end{aligned}$$

Si on s'impose les conditions physiques de fonctionnement de la balance et si on choisit les axes de manière que $X = H$, $Y = 0$ on retrouve sans autre calcul l'expression de ν .

On oriente donc la balance de telle manière que l'équipage oscille dans le plan EW, pôle nord de l'aiguille vers l'E, on lit l'angle η' puis on tourne la balance de 180° de manière à ce que le pôle nord de l'aiguille soit cette fois orienté vers l'W ; on lit un nouvel angle η'' et on prend pour angle η la moyenne $\frac{\eta' + \eta''}{2}$.

Supposons qu'en une station de base où la valeur Z_0 est connue on amène l'équipage à être horizontal ; $\text{tg } \eta = 0$; $MZ_0 = mga$.



Légende

1. oculaire ; 2, diaphragme ; 3, lentille pour le retour du faisceau lumineux ; 4, glace à faces parallèles ; 5, échelle gravée sur verre ; 6, objectif ; 7, miroir de l'équipage aimanté ; 8, aimants ; 9, amortisseurs de cuivre ; 10, couteau ; 11, miroir servant à l'éclairage de la graduation ; 12, crémaillère ; 13, thermomètres (dans les modèles plus récents, les thermomètres sont placés à l'intérieur de la boîte) ; 14, niveau ; 15, niveau sphérique du trépied ; 16, support de l'équipage ; 17, verrous de fixation ; 18, cercle azimutal ; 19, tête du trépied ; 20, trépied ; 21, verrou de sûreté pour les transports.

FIG. 2.

La balance verticale de SCHMIDT-ASKANIA.

Ce cliché de la maison Askania correspond à un type de balance déjà ancien ; les perfectionnements apportés concernent surtout la forme extérieure de la boîte ; les parties essentielles de l'appareil sont restées les mêmes.

D'une manière générale on a donc :

$$\text{tg } \eta = \frac{M(Z - Z_0)}{mg b}$$

La variation de Z par rapport à la station de base est proportionnelle à la tangente de la déviation.

La mesure de l'angle η se fait par autocollimation ; je renvoie pour la description détaillée de ce dispositif aux articles précédemment cités et je rappelle seulement qu'une échelle est placée dans le plan focal d'un objectif de longueur focale f de telle manière qu'un faisceau lumineux issu d'un de ses points forme après passage dans l'objectif un faisceau parallèle et revienne, après réflexion sur un miroir faisant l'angle η avec la position de repos, former une image dans le plan focal de l'objectif.

L'image retournée de l'échelle est dans le plan focal et décalée d'une certaine longueur n telle que :

$$n = f \operatorname{tg} 2\gamma,$$

γ étant petit on peut écrire :

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{n}{2f}.$$

La mesure de la variation de la composante verticale $Z - Z_0$, proportionnelle à $\operatorname{tg} \gamma$ se réduit donc à la lecture de n en divisions d'échelle. Le champ de l'appareil de Schmidt qui comprend 80 divisions correspond à un angle total γ de deux degrés environ. J'indiquerai plus loin comment se fait pratiquement la lecture de n .

La valeur d'échelle ε de l'appareil est le nombre de gammas ⁽¹⁾ correspondant à une division d'écart : $\varepsilon = \frac{Z - Z'}{n - n'}$; la sensibilité s'exprime par l'inverse de la valeur d'échelle.

La valeur d'échelle se règle par une vis située sous le couteau, vis dont le déplacement modifie la sensibilité de la balance. Il importe naturellement que l'équilibre soit stable. Des cônes sur l'axe horizontal permettent d'autre part de régler l'équilibre de l'équipage de telle manière que, à la station de base, $n = n_0 = 0$ et de réaliser la condition indiquée $MZ_0 = mg a$.

Je ne donnerai pas ici de l'appareil une description détaillée pour laquelle il suffit de se reporter aux brochures publiées par la maison Askania ; par ailleurs la figure 2 en montre les principales pièces. Je m'attacherai dans les pages suivantes à exposer d'après mon expérience personnelle les principes de l'utilisation de l'appareil sur le terrain.

Emploi du variomètre sur le terrain et dépouillement des résultats.

- I. Choix des stations, levés cartographiques.
- II. Mesure de la composante verticale en une station.
- III. Dépouillement des résultats.
 - A. Valeur d'échelle.
 - B. Correction de température.
 - C. Correction de variation diurne.
 - D. Emploi des aimants auxiliaires.
 - E. Correction complémentaire de base.
- IV. Perturbations accidentelles.

I. CHOIX DES STATIONS, LEVÉS CARTOGRAPHIQUES.

Le choix des stations et en particulier l'intervalle entre chacune d'elles varie suivant le problème qu'on se propose d'étudier. La recherche de l'anomalie magnétique due à un bloc de basalte de quelques mètres de diamètre exigera, pour qu'on puisse tracer avec certitude la carte d'anomales, des stations distantes seulement d'un ou 2 mètres (page 51). Au contraire dans l'étude d'une anomalie régionale comme celle du Bassin de Paris, j'ai choisi des stations distantes de 2 kilomètres (réseau de 1930, p. 94) et même de 10 kilomètres en moyenne (réseau de 1935, p. 97), cette der-

⁽¹⁾ 1 gamma (1 γ) = 10^{-5} gauss.

nière distance ayant été reconnue largement suffisante pour le problème à résoudre. On ne peut donc pas fixer de règles préalables. La distance des stations ne sera déterminée qu'après un premier levé d'un réseau à mailles larges ; une fois les emplacements des stations choisis, il importe de les repérer sur la carte où seront portés après dépouillement les résultats de la prospection.

S'il s'agit de l'étude d'une anomalie régionale dont on désire pouvoir ultérieurement recommencer la mesure, on opérera exactement comme s'il s'agissait de mesures d'un réseau magnétique absolu : report précis sur une carte, au 1 : 80000^e ou au 1 : 50000^e pour la France par exemple, description exacte de la station fixée par sa distance, mesurée sur la carte, à des points connus tels que carrefours caractéristiques, églises de villages voisins, etc... Le tracé des isanomales se fera ensuite directement sur la carte.

L'étude d'anomalies locales exige au contraire des opérations topographiques préliminaires. La plupart des levés magnétiques du chapitre II ont dû être ainsi accompagnés de levés topographiques.

J'ai utilisé la *planchette*, telle qu'elle est employée généralement par les services topographiques de l'Armée. En même temps que de la planchette on peut se servir soit de *l'alidade nivellatrice à pinnules* soit de la *règle à éclimètre* Goulier ⁽¹⁾ employée avec un jalon à triple voyant.

La règle à éclimètre Goulier (fig. D, planche I) est un instrument d'emploi très pratique et permet d'effectuer avec précision les levés au 1 : 500^e ou au 1 : 1000^e. Les levés (fig. 25 et planche II) ont été effectués avec cet instrument.

Les stations d'un profil seront déterminées par *cheminement goniométrique*. On part d'une station choisie en dehors de l'anomalie magnétique. On indique sur la planchette, en utilisant le *déclinatoire*, la direction du Nord magnétique à simple titre de renseignement. On stationne ensuite sur tous les sommets du contour polygonal constituant le cheminement ; en chaque station on effectue des visées sur la station précédente et sur la station suivante ; on mesure les distances qui sont reportées sur la planchette au 1 : 200^e, 1 : 500^e ou 1 : 1000^e. Enfin on revient « fermer » le contour sur la station de départ.

Si les stations, réparties sur un espace restreint, ont été préalablement choisies et repérées par des piquets de bois par exemple, chaque piquet portant le numéro de la station, on peut par *rayonnement direct* d'un seul point placer sur la planchette plusieurs stations. On stationne ainsi en quelques points seulement et des recoupements sur des stations visées plusieurs fois permettront de vérifier l'exactitude du levé.

Le déclinatoire ne sera pas utilisé, sauf pour fixer une fois pour toutes une direction, celle du Nord magnétique. En effet la déclinaison subit en même temps que la composante verticale du champ des variations importantes, plus grandes que l'erreur que l'on commet en orientant la planchette avec le déclinatoire. La méthode du cheminement décliné qui permet de ne stationner qu'en un sommet sur deux d'un contour polygonal, mais qui nécessite l'emploi du déclinatoire, doit donc être rejetée *a priori*. J'ai vérifié, en exécutant le levé de la côte basaltique d'Essey, que l'aiguille du déclinatoire indiquait souvent des valeurs fausses de 10 à 15 degrés.

La mesure des distances s'effectuera à la chaîne d'arpenteur ou à l'aide de l'éclimètre associé à la stadia-mire de deux mètres. Il ne faut pas dans ce cas dépasser une portée de 70 à 80 mètres si on veut atteindre une précision supérieure à 1 mètre.

(1) Construction S. O. M., Paris.

L'éclimètre permet encore la mesure des pentes avec une erreur de mesure inférieure à un demi-décigrade. De la connaissance de la pente et de la distance entre deux points, on déduit immédiatement la distance horizontale à porter sur la planchette et la *dénivelée* dh entre les 2 points. On peut donc en même temps que le levé procéder à un nivellement suffisamment précis pour qu'on puisse tracer les courbes de niveau de mètre en mètre par exemple. La comparaison de cette carte topographique ainsi construite avec les cartes d'isonomales magnétiques permettra parfois des conclusions intéressantes.

II. MESURE DE LA COMPOSANTE VERTICALE EN UNE STATION.

Je donnerai un aperçu de la marche des opérations à effectuer en une station et indiquerai les principes à observer tels qu'ils résultent de mon expérience personnelle.

a) Placer la boîte contenant l'appareil à une vingtaine de mètres de l'emplacement choisi pour la station. Sortir l'appareil de sa caisse de transport pour qu'il prenne la température de l'air. Eloigner si possible tous les objets en fer. Nous étudierons plus loin quelques exemples des perturbations accidentelles amenées par des clôtures, des masses métalliques (tuyaux, réservoirs d'essence, etc...), exemples qui fixeront un ordre de grandeur des anomalies à attendre en pareil cas.

b) Disposer le trépied sur l'emplacement de la station repérée par un piquet numéroté. La hauteur du pied, surtout dans les régions de fortes anomalies où la roche magnétique affleure ou bien se trouve à proximité du sol, doit être toujours la même : quand on réduisait la hauteur du trépied à la moitié de sa valeur ordinaire, l'anomalie due à une roche dioritique formant le sol de la station augmentait de 175 gammas (p. 66).

c) Déterminer et repérer la direction du Nord magnétique avec la boussole auxiliaire. La précision de cette détermination peut ne pas être très grande.

Si dans la formule générale exposée ci-dessus :

$$\operatorname{tg} \eta = \frac{(MZ - mg a) \sin i + MH \sin \alpha \cos i}{MH \cos \alpha + mg b \sin i}$$

on fait encore $i = \frac{\pi}{2}$ en donnant cette fois à α une valeur quelconque on obtient :

$$\operatorname{tg} \eta = \frac{MZ - mg a}{mg b + MH \cos \alpha}$$

La lecture s_α faite dans ces conditions s'écrira :

$$s_\alpha = 2f \times \frac{MZ - mg a}{mg b} \times \frac{1}{1 + \frac{H \cos \alpha}{2f}}$$

D'où :

$$s_\alpha - s_0 = \frac{H \cos \alpha}{g} \times \frac{MZ - mg a}{mg b + MH \cos \alpha}$$

Heiland indique que pour une lecture s_0 correspondant à 10 divisions d'échelle par rapport à la position d'équilibre, l'erreur commise en disposant l'appareil à 10 degrés du méridien (c'est-à-dire

$\alpha = \frac{\pi}{2} \pm 10^\circ$) est d'environ $3/4$ de division.

Expérience (les lectures sont données en divisions d'échelle ; 1 division = 30 γ) :

	- 30°	- 20°	- 10°	- 5°	Méridien	+ 5°	+ 10°	+ 20°	+ 30°
Orientation par rapport au méridien					20,85	20,6	20,5	20,2	20,0
Lecture à l'Ouest	22,2	21,7	21,2	21,0	22,00	22,2	22,8	23,1	23,8
Lecture à l'Est	21,0	21,3	21,8	21,85	21,43	21,40	21,65	21,65	21,90
Moyenne	21,60	21,50	21,50	21,42					

On voit par conséquent que pour une position du fléau voisine de la position d'équilibre, *une erreur de 5 degrés sur la détermination du méridien est négligeable.*

d) Remplacer la boussole par la balance magnétique. Assurer l'horizontalité de l'appareil. C'est là un point capital ; un défaut d'horizontalité est la source d'erreurs la plus grave. Il faut que, les niveaux étant bien réglés, les bulles restent rigoureusement entre les traits de repère pendant la durée de la mesure. Les niveaux très sensibles sont difficiles à régler et se dérèglent rapidement sous diverses influences, variations de température par exemple. On pourra d'ailleurs n'utiliser que l'un des deux niveaux, s'il a été bien réglé en opérant suivant la méthode classique.

Une étude approfondie des erreurs prouve qu'une petite inclinaison de l'axe de rotation dans le plan EW est sans importance. Les corrections dans les deux mesures vers E et W sont égales et de signes contraires ; elles disparaissent dans la moyenne $\frac{N_e + N_w}{2}$. Au contraire une inclinaison de l'axe dans le plan du méridien intervient d'une manière notable ; il faut alors tenir compte d'une correction :

$$(1) \quad n_e \text{ ou } n_w = n_m \pm \frac{H\rho}{2g}(l_n - l_s).$$

g est la valeur d'échelle, ρ la constante du niveau (en général 30'' par division), l_n et l_s les lectures sur les niveaux dont les divisions sont numérotées.

L'expression (1) est comptée en valeur absolue ; si l'inclinaison de l'axe est vers le nord, on l'ajoute à chacune des lectures ou ce qui revient au même à la moyenne ; si l'inclinaison est vers le Sud, on la retranche.

e) Lectures :

de la température à l'intérieur de la cage avant et après la mesure magnétique ;

de l'heure moyenne de la mesure ;

de la position de l'image de l'échelle du variomètre.

La théorie nous a montré que cette dernière lecture doit se faire dans deux positions symétriques, le pôle nord de l'aiguille étant successivement tourné vers l'Est et vers l'Ouest. Dans la balance Askania le demi-tour est exécuté automatiquement grâce à un dispositif spécial de butoir qui arrête l'appareil rigoureusement à 180 degrés de sa position primitive. On fait trois lectures sur l'échelle dans chacune des deux positions de l'appareil, en éliminant les valeurs qui diffèrent de plus de 0,2 division. Il faut naturellement, en abaissant la manivelle, faire descendre l'équipage très lentement de manière à ce que, sans que l'opérateur entende de bruit, le couteau vienne doucement en contact avec les demi-cylindres d'agate sur lesquels il oscille.

La lecture n se fait par autocollimation. La manière la plus simple d'opérer est la suivante : se placer devant l'appareil, côté manivelle ; on a alors le pôle Nord de l'aimant vers sa gauche. La lunette montre une échelle fixe présentant 40 divisions. On suppose ces divisions graduées à partir de la droite de 0 à 40, la division indiquée par un trait (—) correspondant à la valeur 10, la division indiquée par 2 traits (— —) correspondant à la valeur 30. Appliquer alors les règles suivantes :

1° Se servir du trait central de l'échelle mobile comme index et faire directement la lecture sur l'échelle fixe supposée graduée d'après les conventions précédentes (fig. 3, a).

2° Si l'échelle réfléchie mobile est décalée vers la droite de plus de 20 divisions par rapport à l'échelle fixe, se servir comme index du trait extrême seul visible de l'échelle mobile (ici le trait gauche) ;

lire à l'aplomb de cet index la division de l'échelle fixe comme plus haut, et retrancher 20 divisions (fig. 3, b).

3° Si l'échelle réfléchie mobile est décalée vers la gauche de plus de 20 divisions, se servir comme

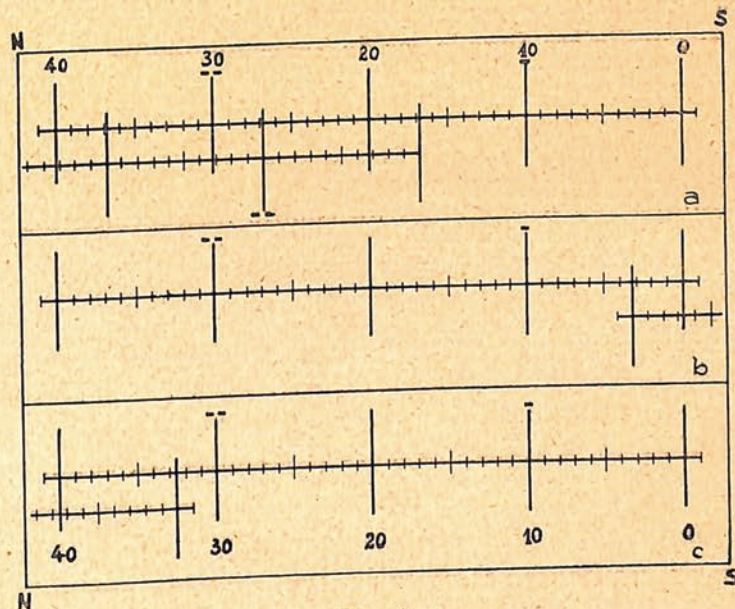


FIG. 3.

Lectures par auto-collimation.

(a) $n = 36,9$; (b) $n = -16,7$; (c) $n = 52,7$.

index du trait extrême seul visible (cette fois le trait droit) ; lire à l'aplomb de cet index la division de l'échelle fixe et ajouter 20 divisions (fig. 3, c).

La lecture N qui constitue la mesure de la composante verticale en une station est la moyenne de

$$\frac{(n_1 + n_2 + n_3)^E + (n'_1 + n'_2 + n'_3)^W}{6}$$

des 6 lectures effectuées dans les positions symétriques.

Chaque lecture doit se faire au dixième de division, ce qui correspond suivant les appareils à 2 ou 3 gammas. Les moyennes des lectures à l'Est et à l'Ouest sont parfois identiques mais le plus généralement différent de quelques dixièmes soit parce que le méridien n'a pas été déterminé exactement soit parce que les niveaux n'ont pas été parfaitement réglés.

III. DÉPOUILLEMENT DES RÉSULTATS.

La valeur relative de la composante verticale par rapport à une station de base est donnée par la formule :

$$\Delta Z = \varepsilon(N - N_0) + A(t - t_0) + z + F + c.$$

N lecture moyenne obtenue comme il vient d'être dit.

N_0 lecture moyenne à la station de base.

ε valeur en gammas de l'échelle.

A coefficient de température.

t température.

z variation diurne de l'élément magnétique.

F champ compensateur des aimants auxiliaires dans le cas de fortes anomalies.

c correction complémentaire de base.

J'indiquerai successivement comment sont déterminées ces différentes grandeurs.

- A) Valeur d'échelle.
- B) Correction de température.
- C) Correction de variation diurne.
- D) Emploi des aimants auxiliaires dans le cas de fortes anomalies.
- E) Correction complémentaire de base.

A) *Détermination de la valeur d'échelle du variomètre.*

1° Le procédé le plus simple consiste à créer un champ magnétique auxiliaire en faisant passer un courant dans un cadre et à lire en divisions d'échelle la déviation qui correspond à un courant d'intensité donnée.

La bobine que l'on utilise en général est une bobine d'Helmholtz constituée par deux spires placées à une distance égale à leur rayon. Chacune de ces spires est insérée dans une rainure tracée sur la face extérieure d'un anneau plat en bronze, à section rectangulaire. Afin de réaliser ainsi deux circuits parfaitement circulaires, on a croisé les deux extrémités du conducteur sur une mince tige isolante en corde de boyau serrée contre une plaque d'ébonite fixée elle-même dans l'anneau de bronze. Les deux prolongements du fil conducteur étant ensuite fixés parallèlement sur une longueur d'environ 2 mètres l'action de ces bouts est annulée. Les anneaux portant chacune des spires sont assemblés par des tiges de cuivre de manière à réaliser la condition ci-dessus : distance égale au rayon. On vérifie que le courant parcourt les deux spires dans le même sens au moyen d'une boussole ordinaire ou en présentant les spires parcourues par le courant au variomètre lui-même.

Dans ces conditions le champ créé au centre de la bobine, champ qui s'ajoute ou se retranche au champ terrestre suivant le sens du courant, est donné par :

$$H_{\text{gauss}} = \frac{6,4\pi}{a\sqrt{5}}i, \quad (1)$$

où a est le rayon des spires et i l'intensité du courant en unités e. m. c. g. s.

On peut considérer que le champ créé dans un espace voisin du centre de la bobine est uniforme et dirigé suivant l'axe de la bobine (2). Par suite un centrage rigoureux de la bobine n'est pas nécessaire. Lorsque l'axe est vertical le champ créé s'ajoute algébriquement à la composante verticale du champ magnétique terrestre.

La mesure de la composante verticale ainsi modifiée se fait naturellement dans les deux positions symétriques, le Nord de l'équipage aimanté dirigé d'abord vers l'Est puis tourné vers l'Ouest.

(1) Par exemple : H. OLLIVIER, *Cours de Physique Générale*, Tome I, Hermann, Paris, 1921, p. 307.

(2) Dans le voisinage du centre le champ est donné par les formules suivantes où x et y sont les coordonnées d'un point quelconque (NAGAOKA, *Philosophical magaz.*, vol. 41, 1921) :

$$H_x = \frac{6,4\pi i}{a\sqrt{5}}(1 - \Delta) \quad \text{avec} \quad \Delta = \frac{18}{125a^4}(8x^4 - 24x^2y^2 + 3y^4),$$

$$H_y = \frac{2304\pi i}{625a^5\sqrt{5}}xy(4x^2 - 3y^2)$$

$$\frac{H_y}{H_x} = 0,576xy(4x^2 - 3y^2) \frac{1}{a^4},$$

Δ et H_y sont généralement négligeables.

Comme dans toutes les mesures de ce genre il est bon pour chaque intensité d'utiliser deux lectures en inversant le sens du courant.

Le courant, fourni par exemple par une pile sèche, est mesuré par un milliampèremètre. Il est commode de réunir les divers organes, piles, rhéostat, inverseur et ampèremètre dans une seule boîte de mesures. J'ai fait établir par la Maison Chauvin et Arnoux un coffret de ce genre.

Exemple de détermination de la valeur d'échelle :

Essey-la-Côte, 10 mai 1935 ; 7 h. à 8 h. :

<i>Intensité 20 milliampères :</i>				
Lectures à l'Est	20,0	20,0	19,9	courant direct
	31,7	31,7	31,7	» inverse
Lectures à l'Ouest	20,0	20,0	19,9	» direct
	32,0	32,0	32,0	» inverse
<i>Intensité 40 milliampères :</i>				
Lectures à l'Est	14,0	14,1	14,1	» direct
	37,6	37,5	37,6	» inverse
Lectures à l'Ouest	14,1	14,1	14,1	» direct
	38,0	37,9	38,0	» inverse

Dans le premier cas la déviation correspondant à 20 milliampères est de 5,94 divisions ; dans le deuxième cas la déviation correspondant à 40 milliampères est de 11,83 divisions. On voit donc qu'il existe une bonne proportionnalité entre les déviations et les courants débités ; dans les régions de faible variation on peut se contenter de faire l'étalonnage pour une seule intensité de courant. Dans la bobine employée $a = 12$ centimètres d'où, si le champ est exprimé en gammas et le courant en milliampères :

$$C = \frac{6,4\pi}{a\sqrt{5}} \cdot 10 = 7,49$$

7,49 \times 20 gammas correspondent à 5,94 divisions. 1 division d'échelle correspond donc à 25,3 gammas.

2° On peut aussi créer un champ auxiliaire en plaçant un aimant de moment magnétique connu M à la distance r sur la verticale du centre de l'équipage. Si le pôle nord de cet aimant est dirigé vers le haut, le champ auxiliaire se retranche du champ terrestre et inversement. Dans ces conditions le champ créé s'exprime par la formule

$$F = \frac{2M}{r^3} \left(1 + \frac{k}{r^2} \right),$$

$\frac{k}{r^2}$ est un terme correctif qui dépend de la distance L des pôles de l'aimant directeur et de l distance des pôles des lamelles aimantées.

On a

$$k = \frac{1}{2}L^2 - \frac{3}{4}l^2.$$

La déviation lue sur l'échelle correspond à un champ $\varepsilon (n_1 - n_0)$ égal à F . Lorsqu'on renverse l'aimant directeur pôle pour pôle, on observe une nouvelle déviation $(n_2 - n_0)$

$$\text{et on a } \frac{\varepsilon (n_1 - n_2)}{2} = 2 \frac{M}{r^3} \left(1 + \frac{k}{r^2} \right),$$

$$\varepsilon = \frac{4M}{r^3} \left(\frac{1 + \frac{k}{r^2}}{n_1 - n_2} \right).$$

Cette méthode est très rapide mais, utilisée seule, elle présente l'inconvénient d'être basée sur la

connaissance exacte du moment magnétique M des aimants auxiliaires utilisés. Or on sait que les aimants ordinairement employés ont des moments variables avec la température et peuvent subir une désaimantation progressive, ainsi que je l'ai établi pour des aimants analogues, aimants auxiliaires du variomètre universel de Haalck. Il est donc nécessaire de vérifier de temps à autre le moment magnétique de l'aimant employé. Le moyen le plus simple consiste à faire une première détermination de la valeur d'échelle d'un variomètre par la méthode électrique, puis de mesurer la déviation ($n_1 - n_2$) produite par l'aimant de moment M inconnu. On aura donc :

$$M = \varepsilon(n_1 - n_2) \times \frac{r^3}{4\left(1 + \frac{k}{r_2}\right)}$$

Si, comme il est commode de le faire, on opère toujours à la même distance, le moment est immédiatement connu par $M = C_1 \cdot \varepsilon(n_1 - n_2)$.

Exemple pratique : Essey-la-Côte, 10 mai 1935, 7 h. à 8 h. :

Aimant 0117 ;	$L = 3,5$ cm ;	$l = 8,3$ cm ;	$k = -45$;	$r = 34$ cm		
Lectures n_1 à l'Est					41,9	42,0
à l'Ouest						42,0
n_2 à l'Est					10,2	10,4
à l'Ouest					42,0	42,1
					10,0	10,1

D'où $n_1 - n_2 = 31,8$; on a obtenu (page précédente) par la méthode électrique $\varepsilon = 25,3$. L'application de la formule fournit

$$M = 82,2 \text{ gauss} - \text{cm}^3.$$

(La feuille d'étalonnage fournie par le constructeur indiquait $M = 81$ gauss $- \text{cm}^3$ à la date du 10 novembre 1930).

L'importance du terme correctif est d'environ 4 % à la distance 340 millimètres et d'environ 8 % à la distance 250 millimètres.

B) Détermination du coefficient de température.

1° *Equipages non compensés pour les variations de température.* — Les effets de température sont difficiles à corriger rigoureusement car on ne connaît pas, par suite de phénomènes d'hystérèses, la température exacte des différentes parties du fléau aimanté.

L'influence de la température se traduit :

1° par une variation du moment M des lamelles aimantées ;

2° par une variation de la distance du centre de gravité à l'axe de rotation c'est-à-dire par une variation des longueurs a et b .

On peut écrire cette variation entre les lectures à la température t et à la température prise comme zéro sous la forme

$$n' - n_0 = 2f \frac{MZ(1 + \mu t) - mg a(1 + pt)}{mg b(1 + qt)}$$

D'une manière générale la lecture corrigée n s'écrira

$$n = n' - 2f \frac{MZ(\mu - q) - mg a(p - q)}{mg b} (t - t_0).$$

Le coefficient A , multiplicateur de $(t - t_0)$, sera déterminé expérimentalement au cours de longues séries de mesures, la température variant lentement et progressivement.

Voici deux déterminations de ce coefficient faites sur le pilier des mesures absolues à l'observatoire du Val-Joyeux :

TABLEAU I

Appareil Askania n° 97106 ; $\varepsilon = 32 \gamma$ par division ; coefficient de température $A = 0,15$.

Heure	Lecture corrigée de la var. diurne	Température appareil	Température salle	Heure	Lecture corrigée de la var. diurne	Température appareil
15 ^h 40	20,81	24 ^o 2	26 ^o 8	8 ^h 28	23,56	13 ^o 1
15 ^h 56	20,91	25 ^o 4	28 ^o 5	8 ^h 55	23,28	14 ^o 8
16 ^h 16	20,67	25 ^o 8	24 ^o 6	9 ^h 25	23,15	15 ^o 8
16 ^h 36	20,75	24 ^o 0	20 ^o 8	10 ^h 00	23,07	18 ^o 8
17 ^h 02	21,20	22 ^o 8	19 ^o 9	10 ^h 10	22,97	17 ^o 2
17 ^h 26	21,39	21 ^o 1	18 ^o 6	10 ^h 52	22,80	18 ^o 8
17 ^h 44	21,51	20 ^o 0	17 ^o 9	11 ^h 00	22,82	19 ^o 1
18 ^h 14	21,72	17 ^o 7	16 ^o 7	11 ^h 30	22,70	19 ^o 6
18 ^h 28	21,78	16 ^o 7	15 ^o 9			

Dans le premier cas une diminution de température de 9^o1 amène une augmentation de la lecture de 1,1 division d'échelle ; dans le deuxième cas on trouve une diminution de 0,86 division d'échelle pour une augmentation de température de + 6^o5. Le coefficient A est donc de 0,12 dans le premier cas, de 0,13 dans le deuxième, valeurs voisines de celle indiquée par le constructeur (0,15).

Variations brusques ou irrégulières de la température. — Pour des variations rapides et irrégulières de la température, il peut arriver que la correction de température change de signe, la température luë sur le thermomètre placé dans la boîte n'étant pas celle prise en réalité par l'équipage de l'aimant.

Expérience : Au cours d'une prospection sur le terrain on a mesuré Z en 13 stations, la température variant irrégulièrement de 14^o0 à 19^o8, puis on a refait les mêmes mesures en sens inverse, la température variant cette fois de 19^o2 à 15^o2.

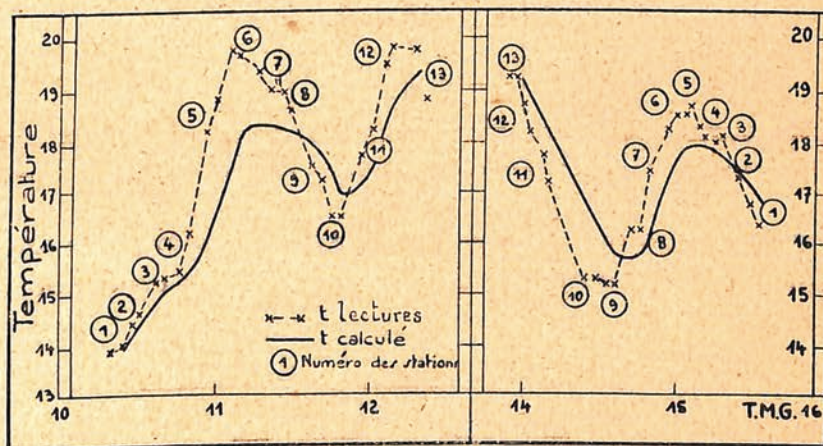


FIG. 4.

Variations de température au cours d'expériences sur le terrain.
(Températures lues et calculées.)

On a ainsi obtenu 13 couples de valeurs qui ont été corrigées de la variation diurne d'ailleurs peu importante ce jour-là : pour une même station les différences dues à la variation diurne entre les deux mesures ne dépassaient pas 4 gammas. Ces 13 couples de valeurs (tableau II) dépendent donc uniquement de la température et les écarts entre les valeurs de chaque couple (colonne I) devraient pouvoir être annulés en appliquant une correction uniforme de 8 gammas par degré (1). La

(1) Il est facile de voir d'après la formule rappelée à la page 14 que, lorsqu'on augmente la sensibilité d'une balance en déplaçant le contre-poids inférieur, le coefficient de température est notablement modifié. Dans la prospection ci-dessus, la valeur d'échelle de la balance utilisée avait été amenée à 9 γ : son coefficient de température avait passé de 3,6 γ (ancien réglage) à 8 γ par degré (sensibilité nouvelle).

colonne 2 montre que si cette correction est valable pour un certain nombre de mesures, elle ne s'applique pas à plusieurs autres. Pour les stations 5, 10 et 11 en particulier, les écarts qui subsistent dans la colonne 2 correspondent à des différences de température de 1°5 à 2 degrés. Cette irrégularité tient, pour la plus grande part, à ce que la température de l'aimant n'est pas celle qu'indique le thermomètre, température dont la marche est représentée par la courbe en pointillé de la figure 4. J'ai donc essayé de calculer point par point une courbe de température qui permette de ramener tous les écarts aux valeurs faibles de la colonne 3 du tableau II. Cette courbe calculée est tracée en traits pleins sur la figure 4. Elle représente le retard pris par la température de l'aimant sur celle de la cage et l'amortissement des « pointes » de température. On pourrait tracer plusieurs courbes théoriques qui satisfassent aux conditions ; celle qui a été calculée me paraît le mieux représenter le phénomène physique, particulièrement net au cours de cette prospection par suite de la valeur élevée du coefficient de température de l'aimant.

TABLEAU II

Stations	Z brut	Ecart			Z corrigé	Stations	Z brut	Ecart			Z corrigé
		(1)	(2)	(3)				(1)	(2)	(3)	
1	118	- 21	+ 1	+ 4	126	8	- 57	+ 20	- 1	0	- 83
	139				125		- 77				- 83
2	191	- 39	- 6	- 4	197	9	- 51	+ 18	0	+ 2	- 73
	221				201		- 69				- 75
3	241	- 19	+ 2	+ 3	241	10	- 66	- 2	- 12	- 2	- 80
	260				238		- 64				- 78
4	142	- 17	+ 4	+ 4	140	11	- 67	- 11	- 15	- 3	- 85
	159				136		- 56				- 82
5	49	- 18	- 15	- 4	39	12	- 53	+ 1	- 9	+ 1	- 83
	67				43		- 54				- 84
6	- 19	+ 7	- 5	+ 1	- 43	13	- 47	+ 5	+ 4	+ 5	- 81
	- 26				- 44		- 52				- 86
7	- 54	+ 15	+ 1	+ 1	- 80						
	- 69				- 81						

(1) Ecart brut ; (2) Ecart après correction d'après la température lue ; (3) Ecart après correction d'après la température calculée.

2° *Emploi d'aimants compensés.* — L'incertitude sur la connaissance exacte de la température prise par l'équipage aimanté peut entraîner des erreurs qui dans les cas de variations brusques de

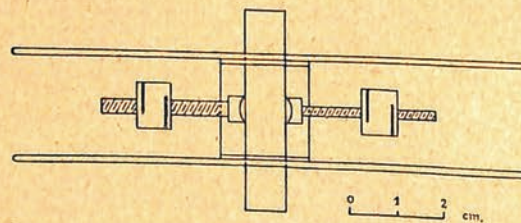


FIG. 5.

Nouvel équipage aimanté compensé.

température dépassent 10 ou 15 gammas. Pour remédier à cet inconvénient les constructeurs ont muni depuis 1933 les équipages aimantés des balances Askania d'un système compensateur. Le bloc central, auquel sont fixées les 2 lamelles aimantées, porte 2 tiges filetées sur lesquelles sont vissés deux écrous évidés suivant des rainures (fig. 5). Les variations du moment de gravité dues à la

dilatation de ces écrous compensent les variations du moment magnétique des aimants. La théorie en a été exposée par Heiland ⁽¹⁾.

La compensation réalisée est très satisfaisante dans un intervalle de température de 50 degrés et le coefficient de température devient inférieur à 0,15 γ par degré. Il peut donc dès lors être négligé ⁽²⁾. J'indiquerai plus loin les résultats comparatifs que j'ai obtenus avec une balance à équipage compensé et avec un variomètre ordinaire (voir p. 22).

C) *Correction de variation diurne.*

On sait que la variation diurne de la composante verticale est importante ; elle peut atteindre en France, par un jour de faible agitation magnétique, une trentaine de gammas ; elle est beaucoup

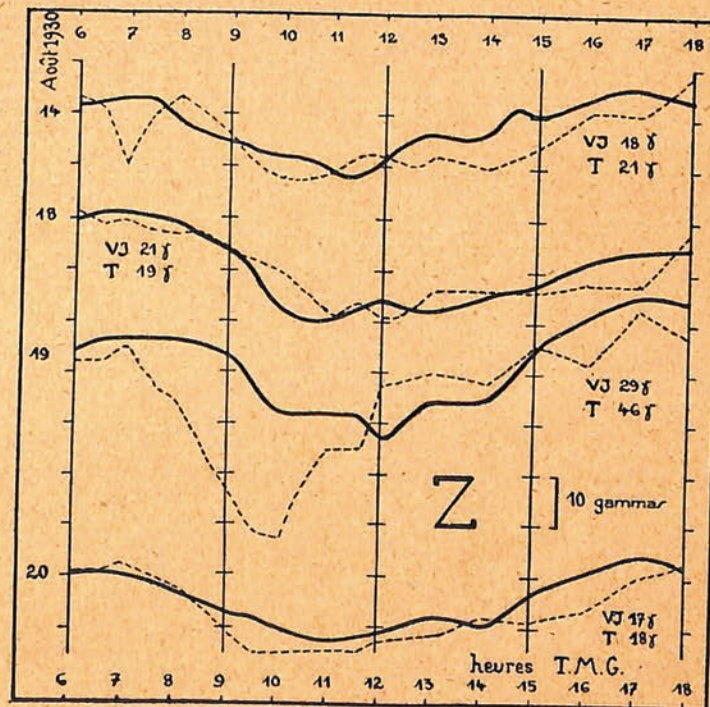


FIG. 6.

Variation diurne de la composante verticale à Tortosa (T, trait pointillé) et au Val Joyeux (VJ, trait plein) pour certaines journées de prospection. Les valeurs indiquées sur les côtés de la figure sont les amplitudes.

plus forte les jours agités et dans les régions de haute latitude. En général cette variation ne pourra pas être négligée et elle devra être déterminée le plus exactement possible.

Le procédé habituellement employé consiste à utiliser les courbes d'inscription continue fournies par les observatoires permanents ; on peut admettre en première approximation que la variation diurne est sensiblement la même sur une étendue comme celle de la France par exemple. Quand on compare les inscriptions obtenues par plusieurs observatoires, on constate néanmoins dans certains cas d'assez grosses différences.

⁽¹⁾ C. A. HEILAND et W. E. PUGH. — *Theory and Experiments concerning a new compensated magnetometer system*, A. I. M. E., technical publication n° 483, 1932.

⁽²⁾ H. REICH. — *Über Feldführungen mit einem temperaturkompensierten Magnetsystem in einer Schmidtschen Feldwaage*, B.a.G., vol. 3, p. 253-258, 1933.

Je citerai un exemple rencontré au cours des prospections dans les Pyrénées dont les résultats sont exposés plus loin. Ne disposant pas d'appareils enregistreurs à proximité, j'ai dû comparer les enregistrements du Val-Joyeux situé à 600 kilomètres au Nord et de l'observatoire espagnol de Tortosa (Ebro) à 350 kilomètres au Sud. La figure 6 montre que la marche de la composante verticale est parfois très différente au Val-Joyeux et à Tortosa. Le 19 août 1930, à 10 heures du matin, l'écart atteignait 26 gammas, c'est-à-dire près d'une division d'échelle. Or les lectures, corrigées d'après les enregistrements de Tortosa, étaient les suivantes pour les 11 stations faites dans la matinée sur le bord d'un dôme de sel :

22,6 22,7 22,9 22,8 22,7 22,6 22,8 22,9 23,0 22,9 22,9

L'écart maximum est seulement de 0,4 division soit 12 gammas. L'incertitude sur la variation diurne dépasse donc de beaucoup cette valeur et les mesures sont inutilisables.

Il est donc très utile de disposer d'un appareil qui puisse être transporté facilement et dont le réglage commode favorise une installation rapide dans un local fermé, une cave par exemple, à proximité du terrain prospecté. Plusieurs instruments peuvent être utilisés dans ce but : la maison Askania a prévu un dispositif optique qui fixé sur un variomètre de Schmidt permet non plus une lecture directe mais une inscription.

La balance de Godhavn mise au point à Copenhague par le professeur La Cour ⁽¹⁾, avec une valeur d'échelle de 8 à 10 gammas par millimètre sur le papier photographique à un mètre cinquante de distance, peut également être employée. Enfin la maison Carpentier a construit récemment sur nos indications, après des essais exécutés à Strasbourg sur une ancienne balance Mascart modifiée, un nouveau modèle de balance semi-fixe dont voici la description rapide.

Nouvelle balance Rothé-Carpentier semi-fixe pour l'enregistrement de la composante verticale.

Elle présente sur la balance Mascart-Carpentier utilisée dans les observatoires français les avantages suivants : plus grande sensibilité, plus grande commodité des réglages, inscription continue de la température.

Les organes sensibles sont enfermés dans une boîte métallique complètement close (fig. A, planche I). Seul le couvercle démontable porte sur son bord le système optique qui permet l'enregistrement (fig. C). C'est un prisme-lentille à réflexion totale du type employé dans la balance Mascart ; sa distance focale est de deux mètres environ ; l'inclinaison du prisme se commande de l'extérieur par une vis appropriée V_1 .

L'équipage mobile (fig. B) est encore formé de deux lamelles aimantées d'acier au cobalt fixées à un cube amagnétique ⁽²⁾. L'amortissement électromagnétique est réalisé par des pièces de cuivre en U ; pour les transports l'équipage peut être calé par un dispositif spécial manié de l'extérieur au moyen d'une manivelle (fig. A). Le dépôt sur les chapes se fait sans aucun choc. L'équipage porte un miroir horizontal M, fixé de manière invariable. Pour que l'image donnée par ce miroir vienne tomber sur la fente de l'enregistreur, il faut amener l'équipage à être à peu près horizontal. Dans la balance de Godhavn on emploie, pour ce faire, un procédé un peu grossier qui consiste à limer sur une pierre la partie de l'aimant « trop lourde magnétiquement ». Dans le variomètre Askania on est contraint de démonter l'appareil, de sortir l'équipage et d'agir avec un tournevis sur les vis coniques formant contrepoids. Dans la nouvelle balance Carpentier les contrepoids peuvent être dévissés de l'extérieur sans *aucun démontage* ; à cet effet, la cage porte, à la partie supérieure et sur l'un des

⁽¹⁾ D. LA COUR. — *La balance de Godhavn, publikationer det Danske meteorologiske Institut, comm. magnétiques n° 8, Copenhague, 1930.*

⁽²⁾ Les aciers au Co sont beaucoup moins sujets aux variations d'aimantation avec le temps après usage dans des champs variés.

côtés, deux petites ouvertures fermées par des pistons à ressort commandant des tiges en forme de tournevis qui viennent agir sur les pièces mobiles; l'équipage doit être calé pendant cette opération. Les pistons portent extérieurement une rainure dans laquelle vient s'encastrier l'extrémité d'une clé-poussoir fournie avec l'appareil et visible à gauche sur la figure B. Il suffit de tourner cette clé pour que le tournevis intérieur correspondant agisse directement sur les vis V_2 des contrepoids: quand on retire la clé, les pistons sont libérés et cessent de commander les contrepoids. On peut aussitôt produire des oscillations et on vérifie si l'équilibre est atteint ou non. On évite ainsi les longs tâtonnements nécessités par le réglage des autres appareils.

L'équipage porte encore un autre miroir M_1 incliné à 45 degrés (fig. B) et qui est destiné à doubler la déviation par double réflexion. Deux autres miroirs également inclinés à 45 degrés sont placés à côté du précédent. L'un M_2 est porté par un support fixe; il servira à l'inscription de la ligne de base, l'autre M_3 est fixé à l'extrémité d'un petit tube thermométrique du type Bourdon-Richard visible au centre de la figure B. Les faisceaux lumineux, tombant sur les miroirs M_1, M_2, M_3 , viennent se réfléchir sur 3 miroirs M'_1, M'_2, M'_3 portés par l'une des parois de la cage.

Ces trois miroirs sont soutenus par des jeux de vis dont deux sont réglables: les miroirs sont donc orientables à volonté; l'une des vis commande ainsi le mouvement du spot en hauteur et l'autre le mouvement horizontal. Les 6 vis de réglage indiquées B (balance), Z (zéro) et T (température) sont réunies dans un petit tableau visible sur les figures A et C et placé sur la paroi extérieure de la cage. Ainsi tous les réglages, aussi bien celui assurant l'équilibre de l'aimant que ceux des différents spots, peuvent se faire très rapidement sans ouvrir la cage. Afin d'éviter les réflexions multiples, les miroirs sont métalliques; ils ont été formés par un procédé nouveau, dépôt de palladium par projection cathodique.

La mise en place de la balance se fait d'une manière analogue à celle de la balance Askania. La boîte métallique et les organes que nous venons de décrire tournent sur une plateforme supportée par des vis calantes. La plateforme porte un limbe gradué et une boussole permet de repérer la direction du méridien magnétique. La cage est alors placée de telle manière que les aimants oscillent dans le plan Est-Ouest magnétique. On règle l'horizontalité de la cage au moyen de deux niveaux placés à angle droit dans des cavités sur les faces de la cage.

Le réglage des spots s'opère de la manière suivante: on commence par équilibrer l'équipage en agissant sur les vis V_2 et on dispose l'inscripteur à la distance focale, de manière que l'image de simple réflexion fournie par le miroir M se forme à peu près dans le plan médian de l'inscripteur. Pour l'amener sur la fente on agit sur la vis V_1 qui modifie l'inclinaison du prisme à réflexion totale. Les trois autres images, double réflexion, ligne repère et température, occupent alors des positions quelconques autour de la précédente: il suffit d'agir successivement sur les systèmes de vis B, Z, T dans le sens convenable pour amener les spots sur la fente à la place désirée.

Etalonnage de la balance Carpentier.

1° *Etalonnage de la sensibilité.* — On opère comme pour les autres balances en créant au moyen d'un cadre un champ auxiliaire qui s'ajoute au champ terrestre ou s'en retranche. Le cadre employé est encore une bobine d'Helmholtz, sa constante est 7,49. Les déviations sont inscrites sur papier photographique.

Le calcul montre que $7,49 \times 10$ milliampères = 75 gammas donnent une déviation moyenne de 25,5 millimètres; 1 millimètre correspond donc à 3 gammas.

2° *Etalonnage du thermomètre.* — On fait varier la température de la salle et on enregistre la courbe donnée par le thermomètre.

16,4 millimètres correspondent à un degré centigrade. Au cours des expériences de Welschbruch la température au mois de juillet 1935 a varié dans la cave — non spécialement protégée — d'environ 1 degré par jour.

3° *Correction de température.* — L'équipage aimanté, tel qu'il est actuellement construit, n'est pas compensé pour les variations de température. Nous espérons qu'il pourra être prochainement modifié dans ce sens. Le coefficient de température a été déterminé par comparaison avec un appareil compensé placé à proximité. J'ai trouvé 5 gammas par degré. Ce chiffre évidemment trop élevé est pourtant de l'ordre de grandeur habituel. Rappelons à ce sujet que la balance de l'Observatoire du Val-Joyeux a un coefficient de 21 gammas par degré; d'ailleurs la température de la cave de cet observatoire ne varie que de 0°2 et exceptionnellement de 0°3 par jour. Il ne saurait être question encore de comparer les inscriptions obtenues en utilisant la nouvelle balance Carpentier en Alsace avec celles de la station centrale de Paris (Val-Joyeux). Cela ne pourrait se faire qu'à la suite d'études prolongées. Il semble d'après les quelques inscriptions faites au mois de juillet 1935 que les minima de Z vers midi sont moins accusés (d'environ 5 gammas) dans les Vosges qu'à Paris.

D) *Emploi des aimants auxiliaires dans le cas de fortes anomalies.*

Lorsque par suite de grandes variations l'échelle sort du champ, on l'y ramène à l'aide de l'un des aimants auxiliaires qui sont au nombre de trois. Il faut alors réduire les lectures en tenant compte du champ additionnel de l'aimant auxiliaire. Ce champ s'exprime par :

$$F = \frac{2M}{r^3} \left(1 + \frac{k}{r^2} \right).$$

Comme il dépend essentiellement du moment magnétique de l'aimant, il est donc indispensable, pour calculer la correction à apporter aux mesures, de connaître avec exactitude ce moment. Il est préférable de déterminer expérimentalement sur le terrain même la correction à introduire par l'emploi de l'aimant additionnel : lorsque cela sera possible, on fera une première lecture sans aimant, puis une deuxième avec aimant ; de même, dans les stations d'anomalies encore plus grandes qui nécessitent l'emploi d'aimants compensateurs de plus en plus forts, on déterminera les variations de champ introduites lorsqu'on passe de l'aimant faible à l'aimant moyen, puis de l'aimant moyen à l'aimant le plus fort.

Il convient de ne pas se fier aux valeurs des moments des aimants sans les avoir vérifiées. C'est ainsi que le moment de l'aimant 0117 est passé de 70,5 $\Gamma - \text{cm}^3$ en octobre 1934 à 82,0 $\Gamma - \text{cm}^3$ en mai 1935. Le champ additionnel ainsi créé par cet aimant placé à la distance 250 millimètres de l'équipage du variomètre a donc passé pendant cet intervalle de 840 à 950 gammas.

Les aimants fournis avec le variomètre Askania n° 98586, permettent de réaliser une gamme complète de champs compensateurs ainsi que le montre le tableau suivant, d'après les mesures faites sur le terrain.

TABLEAU III

Aimant	Distance r	Champ compensateur	
		en gammas	en divisions d'échelle
0117	340	400	16
0117	250	950	38
3254	340	1320	53
3254	310	1720	69
3254	280	2340	94
3254	250	3200	128
2254	340	5300	212

E) *Choix d'une ou plusieurs stations de base: correction complémentaire de base.* — Les mesures de la composante verticale exécutées avec les variomètres sont des mesures relatives par rapport à une station de base, où des mesures sont effectuées au début et à la fin de chaque journée d'expériences. Il est préférable de choisir deux stations de base, les résultats de l'une contrôlant ceux de l'autre. L'une des stations sera choisie en terrain non perturbé en dehors du champ même de prospection, l'autre, au centre de l'anomalie. C'est ainsi que j'ai procédé à Essey et au Neuntelstein. Dans ce dernier cas, la station de base choisie en dehors de l'anomalie était voisine de la cave où fonctionnait en permanence l'enregistreur de la composante verticale. Dans l'étude de l'anomalie du Bassin de Paris, je revenais presque chaque jour à l'observatoire du Val-Joyeux et la station de base du réseau était un point du jardin de cet observatoire voisin du pilier où s'effectuent les mesures absolues. En même temps les mesures étaient souvent répétées en une deuxième station, Neauphles-le-Château, située à une vingtaine de kilomètres. Lorsqu'on a apporté aux mesures ainsi effectuées à la station de base les corrections habituelles, on constate que les résultats définitifs diffèrent entre eux parfois assez notablement. Cette différence peut être fictive et s'explique par une mauvaise lecture ou provient d'un déplacement du zéro par suite de chocs ou d'un déplacement du centre de gravité de l'équipage. Les résultats de la deuxième station de base permettent de vérifier le déplacement du zéro. Dans ce cas l'erreur qui en résulte sera répartie linéairement sur les résultats des différentes stations de la journée. *C'est la correction complémentaire de base :*

Voici par exemple 8 couples de lectures trouvées au Val-Joyeux d'une part, à Neauphles d'autre part.

Groupes	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Dates.....	19.3 matin	22.3 soir	28.3 matin	28.3 soir	29.3	8.4	9.4	11.4
Val-Joyeux.....	35,3 ↓	35,2 ↑	35,15 ↓	34,65 ↑	34,6 ↓	35,8 ↓	36,0 ↑	36,1 ↑
Neauphles.....	39,3 ↓	39,0 ↑	39,0 ↓	39,3 ↑	38,5 ↓	39,8 ↓	40,0 ↑	40,2 ↑
Différence	4,0	3,8	3,85	4,65	3,9	4,0	4,0	4,1

La flèche indique l'ordre dans lequel la double mesure a été faite

Les 3 premiers groupes montrent que la valeur de base (lecture au Val-Joyeux) s'est modifiée d'une manière presque insensible pendant cette période ; le groupe IV indique au contraire que la valeur de base a changé dans le transport de l'appareil de Neauphles au Val-Joyeux, le soir du 28 : cette nouvelle valeur est bien celle qu'on retrouve dans le groupe V ; les groupes VI, VII et VIII indiquent encore une nouvelle valeur de base, vérifiée par une très bonne concordance entre les deux stations, valeur qui varie lentement du 8 au 11 de 0,3 divisions : cette variation sera répartie proportionnellement au temps entre le 8 au matin (groupe VI) et le 9 au soir (groupe VII).

La différence moyenne Val-Joyeux-Neauphles s'établit à $3,95 \pm 0,15$ soit 98 ± 4 gammas.

Je donnerai page 35 un exemple détaillé de l'application de la correction complémentaire de base.

Exemple d'application des corrections

Station : Saint-Germain-la-Poterie (Oise).

Date	Heure	N lecture moyenne brute	t	$(t - 15)$	Variation diurne V	N_0 lecture corrigée
20.10.30	14 ^h 45	32,81	16 ^o 0	+ 1 ^o 0	229 γ	31,85
20.10.30	14 ^h 55	32,86	15 ^o 5	+ 0 ^o 5	231	31,90
21.10.30	7 ^h 35	32,71	13 ^o 2	- 1 ^o 8	219	31,97
21.10.30	7 ^h 45	32,90	11 ^o 0	- 4 ^o 0	220	31,91
21.10.30	7 ^h 55	32,99	10 ^o 0	- 5 ^o 0	220	31,90
21.10.30	15 ^h 25	32,90	13 ^o 1	- 1 ^o 9	225	31,98
21.10.30	15 ^h 40	32,98	12 ^o 1	- 2 ^o 9	225	31,96

La formule appliquée est

$$N_0 = N + 0,10(t - 15) + \frac{200 - V}{\varepsilon}$$

 ε (valeur d'échelle) = 34 gammas par division.

On voit que l'écart maximum sur la moyenne des 7 lectures corrigées est seulement de $\pm 0,07$ divisions ; c'est-à-dire ± 2 gammas, alors que les corrections dues à la variation diurne varient de 12 gammas et celles dues à la température de 20 gammas.

Erreur à attendre sur une mesure relative de la composante verticale. — Les expérimentateurs sont d'accord pour admettre une erreur maxima de ± 10 gammas se répartissant en parties égales sur la lecture N au dixième de division (lecture qui dépend de la mise en station de l'appareil, horizontalité des niveaux, etc...), sur la correction de température et sur la correction de variation diurne. J'ai néanmoins été amené à discuter des cas où la limite de l'erreur commise est plus grande. Lorsqu'on opère simultanément avec deux appareils placés l'un à côté de l'autre, on peut procéder à une bonne comparaison des résultats qu'ils fournissent. Reich ⁽¹⁾ a comparé ainsi les résultats fournis par 316 couples de deux stations, la première avec un variomètre compensé et la seconde avec un variomètre non compensé.

Il s'agissait, semble-t-il, de mesures faites sur un terrain réduit, les mesures étant souvent répétées. J'ai moi-même exécuté des mesures analogues au cours d'une véritable prospection ; les appareils transportés en automobile étaient exposés à des chocs inévitables et à des dérèglages fréquents ; le tableau suivant indique le nombre de stations pour lesquelles les différences entre les résultats obtenus avec les deux appareils sont comprises entre certaines limites.

Différence	Nombre de stations	
	(H. REICH)	(J. R. : Bassin de Paris)
0-5 gammas	173 soit 55 %	28 soit 61 %
6-10	90 28 %	13 28 %
11-16	47	5 11 %
17-18	3	
20-21	2	
29	1	
Total	316	46

⁽¹⁾ H. REICH. — *Loc. cit.*, B. G. e. a. G., vol. 3, 1933, p. 258.

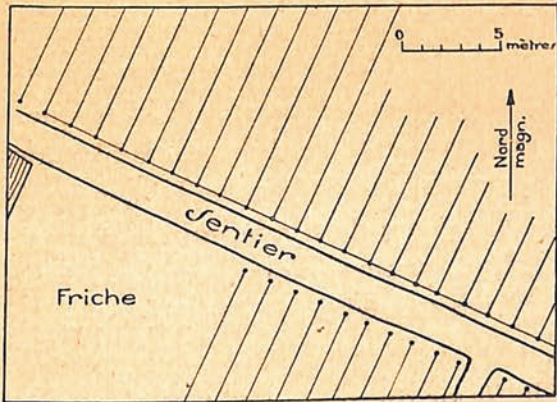


FIG. 7.

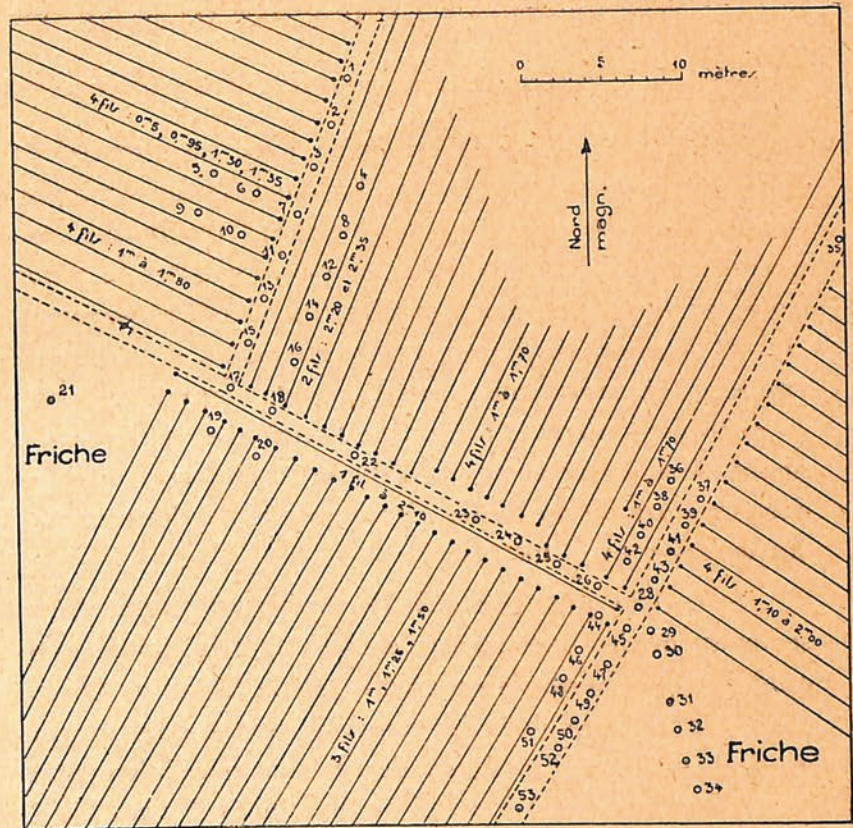


FIG. 9.

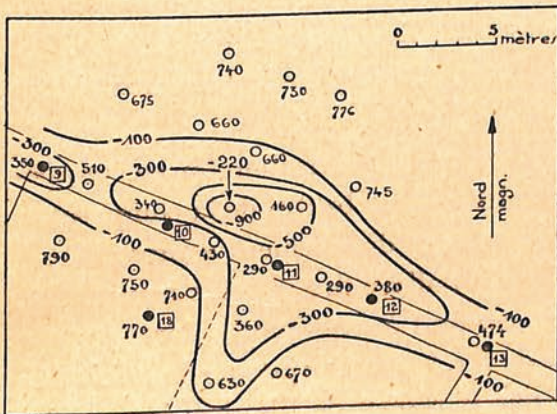


FIG. 8.
Anomalie magnétique A.

PERTURBATIONS ACCIDENTELLES
produites
par les réseaux de fils de fer
des vignobles de RIQUEWIHR.

Courbes isanomales de 200 en 200 gammas ; pour
l'emplacement des zones A et B voir la carte générale
fig. 22, page 47.

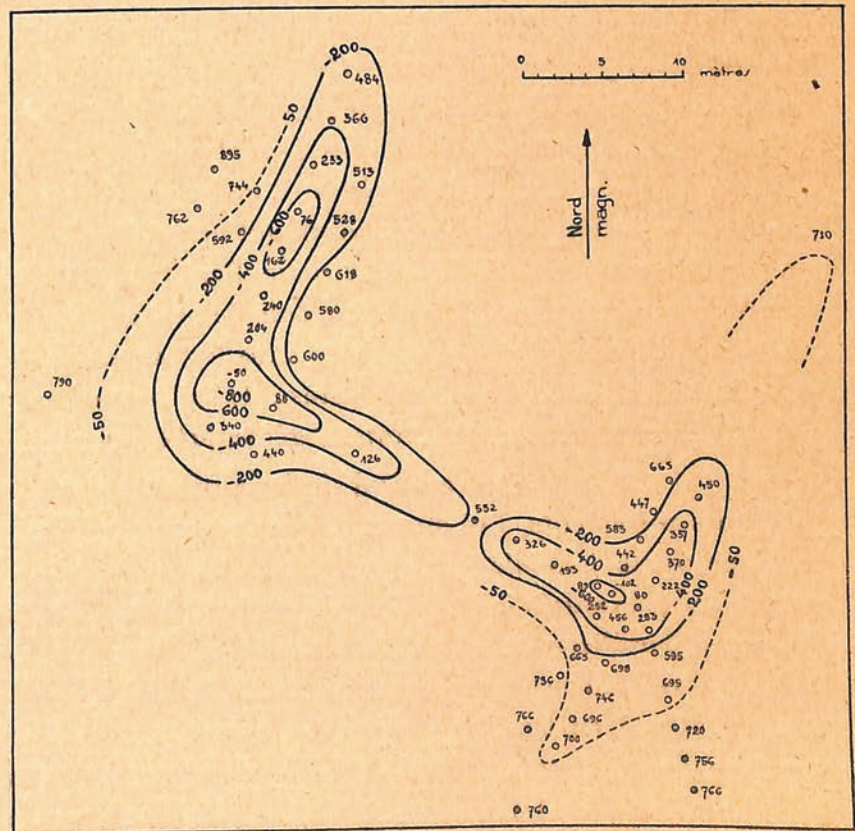


FIG. 10.
Anomalie magnétique B.

IV. — PERTURBATIONS ARTIFICIELLES OU ACCIDENTELLES.

Lorsque le géophysicien opère avec un appareil de mesures magnétiques, il est souvent gêné, dans les régions habitées, par les constructions humaines. Les clôtures, les masses métalliques, les tuyaux sont des obstacles fréquemment rencontrés. Aussi j'ai cherché à étudier systématiquement quelques-uns de ces obstacles afin de connaître la nature et la grandeur de la perturbation magnétique qu'ils provoquent dans les cas où elle se superpose à des perturbations d'ordre géologique.

1^o *Réseaux de fils de fer des vignobles.* — Certaines des mesures faites dans les vignobles aux environs du pointement basaltique de Riquewihhr — ces mesures seront discutées plus loin, page 49 — m'avaient montré, à l'Est de l'ancienne carrière de basalte, l'existence d'un minimum assez prononcé dont la cause était difficile à discerner *à priori* ; d'autres stations donnaient également des résultats discordants. J'entrepris alors des mesures plus serrées en réduisant les distances des stations à 2 ou 3 mètres.

A. — Une première série de mesures a permis de préciser la forme du minimum A. Les stations se trouvent, les unes sur un sentier de 1 m. 50 de largeur environ, d'autres dans des vignes, enfin quelques-unes (dans le quart SW. de la figure 7) dans une friche. Les vignobles sont constitués par des lignes de ceps dont les rameaux sont tendus sur des fils de fer horizontaux, en plusieurs lignes au-dessus du sol. Les lignes de fils sont généralement au nombre de 4 à des hauteurs au-dessus du sol variant de 1 m. à 2 m. 15 ou de 0 m. 50 à 1 m. 35 ; l'écartement des lignes est d'environ 1 m. 30. En bordure des sentiers un seul fil horizontal, à 2 m. 10 de hauteur, est perpendiculaire aux lignes précédentes (fig. 7).

Etant donnée l'importance des variations, les corrections accessoires (variation diurne, température) n'ont pas été faites et les chiffres portés sur la figure 8 sont les valeurs brutes de la composante verticale à partir d'une valeur de base arbitraire de 750 γ ; ces valeurs sont directement comparables à celles qu'on trouvera plus loin dans le tableau XIV, page 50. D'après l'allure des courbes isanomales, on est en droit d'écarter toute cause d'ordre géologique et on est conduit à expliquer la forte perturbation, qui dépasse 900 γ , par la seule influence du réseau de fils de fer. On remarque que le minimum se place à proximité de la friche, dans l'angle rentrant formé par le réseau de fils. Les isanomales montrent encore une déformation dans le sentier, là où le réseau est interrompu. Au contraire les valeurs sont peu ou pas perturbées dans les vignobles, *au milieu des rangées parallèles de fils de fer*, à 10 mètres environ du sentier ; ainsi, de telles stations pourront malgré la proximité des fils de fer être utilisées dans l'interprétation géologique qui sera discutée plus loin.

B. — J'ai procédé, au Sud de la carrière à des mesures complémentaires, afin de vérifier les résultats précédents. Les stations et les réseaux de fils de fer sont encore représentés à l'échelle sur la figure 9 sur laquelle les fils verticaux aux extrémités des lignes sont figurés par des points. Ces fils de fer galvanisés ont un diamètre allant de 1 à 2 mm. et sont placés comme dans le premier cas en lignes parallèles, chaque ligne comprenant 3 ou 4 fils aux hauteurs qui sont indiquées sur la figure.

Les valeurs brutes de la composante verticale sont portées sur la figure 10 et les isanomales sont tracées à partir d'une valeur de base normale de 770 γ . Comme dans l'exemple précédent, on observe des minimums très prononcés qui se placent le long des sentiers, c'est-à-dire là où les réseaux sont interrompus. La valeur absolue de ces minimums dépasse ici encore 800 γ . Fait également remarquable, les deux minimums les plus importants se placent dans l'angle rentrant formé par une

région dépourvue de réseau au milieu de groupes de réseaux de direction perpendiculaire. Il semble bien qu'il s'agisse d'un effet d'ensemble des réseaux et non pas de la proximité plus ou moins grande de fils particuliers.

2° *Tuyaux de fonte.* — L'origine de la perturbation étant constituée par un tas de tuyaux (8 tuyaux de fonte de 10 centimètres de diamètre et longs de 3 mètres) qui se trouvaient en contrebas et à environ 3 mètres du bord du chemin sur lequel se faisaient les mesures : les valeurs de la composante verticale étaient les suivantes :

A hauteur des tuyaux	A 5 mètres	A 10 mètres	A 15 mètres	
Station 1	2	3	4	
Lecture N ₁ 29,9	26,0	25,2	24,5	en présence des tuyaux après enlèvement.
N ₂ 23,7	—	—	24,1	

A 3 mètres de distance l'anomalie provoquée par le tas de tuyaux était donc d'environ 150 gammas (1 division d'échelle = 25 gammas) et elle était encore sensible à 15 mètres.

3° *Masse métallique enfouie.* — Un exemple imprévu de la perturbation provoquée par une masse métallique enfouie m'a été fourni par les mesures suivantes exécutées au cours du séjour au Scoresby-Sund (Groenland) de l'expédition française de l'Année Polaire. Une provision d'une vingtaine de bidons-réservoirs d'essence, de 100 litres environ et d'une masse métallique de 50 kilogrammes environ chacun, était recouverte de 3 à 4 mètres de neige. Pour la retrouver il fallut faire une véritable prospection magnétique dont les résultats, qui peuvent se passer de commentaires, sont représentés schématiquement figure 11 ; l'anomalie avait un diamètre de 10 mètres environ et dépassait 700 gammas. Le sommet du tas de bidons fut retrouvé à environ 3 mètres de profondeur dans la neige.

Ces quelques exemples donnent aux prospecteurs un ordre d'idée de la grandeur des perturbations accidentelles qui peuvent à leur insu s'introduire dans une prospection géologique.

4° *Aimantation anormale due à la foudre.* — Une autre cause de perturbation à craindre dans les régions montagneuses est due à la foudre et plusieurs auteurs ont attiré l'attention sur l'aimantation propre considérable que prennent les roches frappées par la foudre.

Schulze ⁽¹⁾ a cité un exemple d'aimantation attribuée à la foudre sur un basalte de Saxe : alors que les anomalies mesurées dans la région oscillaient ordinairement entre + 1800 γ et - 1000 γ , elles atteignirent en deux stations + 8790 γ ; le gradient était de 1860 γ par mètre. Il s'agit donc là d'une perturbation tout à fait localisée et c'est d'ailleurs la seule que cet auteur ait rencontrée dans la région en question que des collines avoisinantes protégeaient contre la foudre. De même E. H. Booth ⁽²⁾ attribue à la foudre une variation de 5550 γ observée sur une distance de 5 yards (environ 4 m. 50) au cours d'une prospection détaillée en Australie.

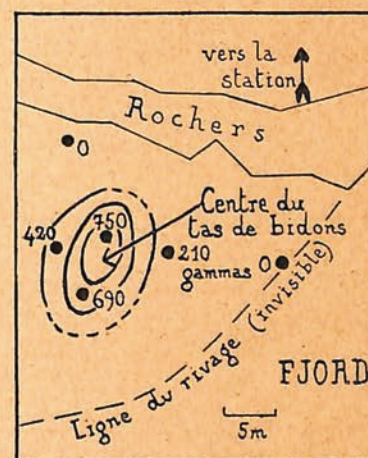


FIG. 11.

⁽¹⁾ E. SCHULZE. — *Magnetische Vermessung einiger tertiäre Eruptivgänge und Stocke im sächsischen Elbsandsteingebirge*, Z. f. G., VI, 1930, p. 151.

⁽²⁾ E. H. BOOTH. — *A detailed regional magnetic survey as an aid to geological interpretation*, J. and. Proc. of the Royal Society of New South Wales, vol. LXIX, p. 53, Sydney, 1935.

Les roches de surface étant exposées à la foudre, surtout aux sommets des montagnes, il y a lieu de penser que la récolte sur le sol d'échantillons destinés à des mesures magnétiques de laboratoire expose à des erreurs appréciables. Hallimond ⁽¹⁾ estime que les échantillons doivent provenir d'une profondeur de 20 mètres au moins.

Dans les massifs volcaniques, en certains points singuliers appelés « punti distanti » par les géophysiciens italiens, l'aimantation devient considérable ; R. Chevallier ⁽²⁾ signale une zone d'aimantation anormale s'étendant sur le bord du massif de l'Etna sur 300 mètres de largeur et qu'il semble difficile d'attribuer à une aimantation par la foudre. Ces aimantations intenses et localisées tendent à devenir horizontales ; en un point même, l'inclinaison est négative. L'origine de ces « punti distanti » est encore incertaine.

J'examinerai plus loin l'éventualité de telles aimantations anormales au cours de la discussion de mes prospections.

⁽¹⁾ A. F. HALLIMOND and E. F. HERROUN. — *Magnetic properties of Igneous Rocks*, Proc. of the Roy. Soc., Series A, vol. 141, 1933, p. 305.

⁽²⁾ R. CHEVALLIER. — *L'aimantation des laves de l'Etna...*, Annales de Physique, X^e série, tome IV, Paris, 1935.

VOIR AUSSI LEWINSON-LESSING. — C. R. A. S., 180, p. 242, 1925.

J. KÖNIGSBERGER. — G. B., vol. 35, p. 204, 1932.

CHAPITRE II

ÉTUDE MAGNÉTIQUE DE QUELQUES GISEMENTS DE ROCHES ÉRUPTIVES

Certaines roches éruptives, basaltes, ophites, diorites, contiennent des grains de magnétite en quantité notable : aussi leur susceptibilité magnétique est-elle supérieure à celle des terrains encaissants. Elles provoquent des variations de la composante verticale du champ terrestre dont l'étude expérimentale offre un double intérêt : elle permet de se rendre compte de leurs modes de gisement et d'établir des profils magnétiques qui peuvent être rapprochés des courbes théoriques correspondantes résultant du calcul. Certaines de ces roches ont une aimantation rémanente importante, et, par les résultats des prospections de leurs gisements, on est conduit à déterminer la direction ou tout au moins le sens du champ au moment de leur formation.

Je passerai successivement en revue les exemples suivants :

- I. Gisements des roches ophitiques.
- II. » des basaltes de Lorraine.
- III. » des basaltes d'Alsace.
- IV. Autres types de gisements de roches basaltiques.
- V. Type de gisement d'un massif dioritique.

Susceptibilité magnétique des roches éruptives. — La susceptibilité magnétique des roches éruptives a été étudiée en détail par Grenet ⁽¹⁾ et je n'y reviendrai pas dans mon travail ; néanmoins, pour chaque prospection j'indiquerai les mesures de susceptibilité que j'ai exécutées moi-même au laboratoire, par la méthode classique de la balance de Curie-Chéneveau, sur les échantillons récoltés à l'emplacement même de la prospection. J'appellerai K le coefficient d'aimantation ou susceptibilité spécifique, k la susceptibilité magnétique ; on sait que si D est la densité de la roche : $k = KD$.

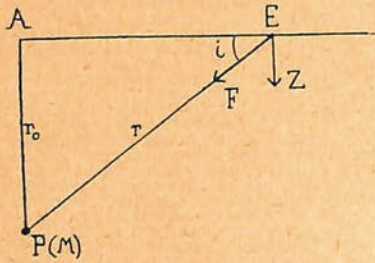
Etude théorique des gisements : Méthode de Nippoldt. — Nippoldt ⁽²⁾ a exposé une méthode théorique extrêmement simple qui permet de calculer les perturbations causées par des accidents géologiques types. Ce calcul a pour base le principe du pôle simple isolé (*Einzelpol*).

⁽¹⁾ GRENET. — *Sur les propriétés magnétiques des roches*, Ann. de Phys., Xe série, t. XIII, 1930, p. 263-348.

⁽²⁾ A. NIPPOLDT. — *Verwertung magnetischer Messungen zur Mutung*, Verlag von J. Springer, Berlin, 1930.

Soit P un pôle, M son intensité, A sa projection à la surface du sol à la distance r_0 , si E est un point de mesure à la surface du sol la force magnétique exercée en E, à la distance e de A, par le pôle s'écrit

$$F = \frac{M}{r^2}$$



Si l'appareil placé en E mesure la composante verticale du champ, la perturbation due à P sera

$$Z = F \sin i$$

$$\sin i = \frac{r_0}{r}$$

En considérant r comme une fonction de r_0 telle que $\lambda = \frac{r_0}{r}$, c'est-à-dire :

$$\lambda = \frac{r_0}{\sqrt{r_0^2 + e^2}}$$

on peut écrire Z sous la forme :

$$Z = \frac{M}{r_0^2} \lambda^3$$

Or $\frac{M}{r_0^2}$ est la force Z_0 en A à l'aplomb de P. On peut donc écrire $Z = Z_0 \cdot \lambda^3$.

Remarquons que Z est proportionnel à M et inversement proportionnel au carré de la distance

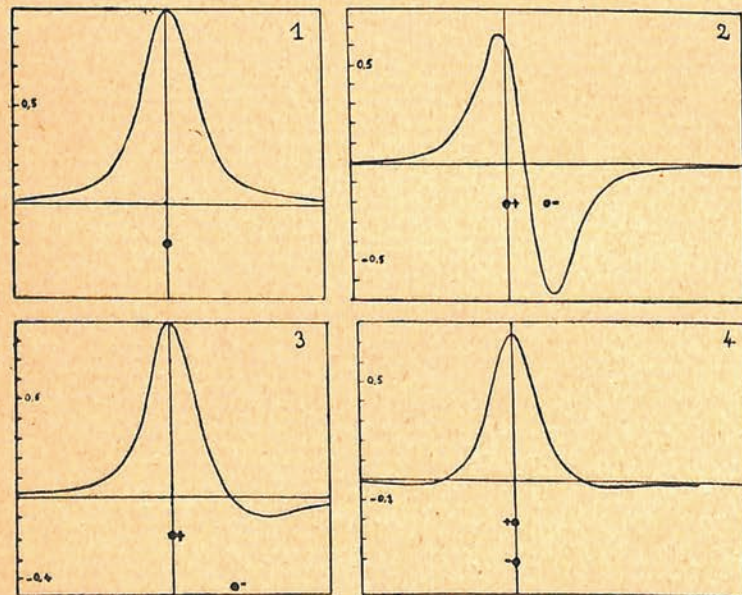


FIG. 12.

Méthode de NIPPOLDT ; courbes théoriques :
pôle simple (1) et aimants inclinés (2, 3, 4).

r_0 . Si nous posons $r_0 = 1$ et $M = 1$, il en résulte que $Z = \lambda^3$, avec $\lambda = \frac{1}{\sqrt{1 + e^2}}$, où e varie de $+\infty$ à $-\infty$.

On peut donc ainsi tracer la courbe théorique de l'action d'un pôle unique. C'est sur cette courbe

que repose toute la méthode. En effet on passe du pôle unique à la succession de pôles soit de même signe soit de signes contraires en ajoutant ou en retranchant un certain nombre de fois les nombres caractéristiques pour les diverses distances e .

Il faut dans cette addition tenir compte des règles suivantes qui découlent immédiatement des équations précédentes :

Si la profondeur du pôle est k fois plus grande, les nombres caractéristiques devront être multipliés par $\frac{1}{k^2}$, l'échelle des abscisses doit être k fois plus grande.

Si l'intensité du pôle est n fois plus grande les nombres devront être multipliés par n .

Par cette méthode il est donc possible de calculer théoriquement la forme d'une perturbation au-dessus d'un filon vertical (suite de pôles de plus en plus profonds), d'un bloc isolé horizontal, constitué par deux pôles de nom contraire à une distance déterminée, de couches inclinées ou horizontales, de failles, etc...

L'ouvrage de Nippoldt contient les courbes théoriques relatives à 31 types particuliers.

J'ai reproduit (fig. 12) quelques courbes caractéristiques : la courbe 1 est la courbe fondamentale

$Z = (1 + e^2)^{-\frac{3}{2}}$ en fonction de e ; le petit tableau suivant en donne d'ailleurs les principaux éléments :

e	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
Z	1,000	0,715	0,353	0,171	0,089	0,051	0,031	0,020	0,014

(la courbe est naturellement symétrique par rapport à l'origine).

La courbe 2 correspond au cas d'un aimant horizontal (profondeur 1 ; 2 pôles de nom contraire à la distance 1).

La courbe 3, à un aimant incliné à 40° , distance des pôles 2 ; enfin la courbe 4 à un aimant vertical (profondeur des pôles 1 et 2).

Nous calculerons plus loin des types de courbes correspondant aux conditions expérimentales rencontrées et nous les comparerons aux courbes obtenues réellement dans nos prospections.

I. — ROCHES OPHITIQUES DES PYRÉNÉES

L'ophite des Pyrénées a depuis longtemps attiré l'attention des géologues et ses conditions particulières de gisement ont été discutées par de nombreux auteurs. Viennot (1) en a publié en 1928 une bibliographie.

Cette roche de teinte verte se rattache aux diabases ; elle est constituée par un pyroxène généralement ouralitisé et un plagioclase associés à l'ilménite, à la magnétite et parfois à du quartz. C'est à la quantité relativement grande de magnétite qu'elle contient que l'ophite doit sa susceptibilité magnétique élevée.

Les mesures de cette susceptibilité, effectuées à la balance de Curie, m'ont fourni les résultats suivants :

Ophite de Saint-Pandelon	$k = 3360 \text{ à } 3480 \times 10^{-6}$;	$D = 2,90$.
Ophite du Cap de Montpeyrroux	$k = 2120 \text{ à } 2350 \times 10^{-6}$;	$D = 2,68$.

(1) VIENNOT. — *Les conditions de gisement de l'ophite et le problème du métamorphisme général dans la chaîne pyrénéenne*, C. R. de l'A. F. A. S., 1928, La Rochelle, p. 354-358.

Ces valeurs sont très voisines de celles indiquées par RÜCKER et WHITE⁽²⁾ pour certaines *dolérites* anglaises, roches très analogues au point de vue pétrographique aux ophites pyrénéennes. Une autre roche verte des Pyrénées, la lherzolite, est également très magnétique. Un échantillon provenant d'un gisement du dôme de Salvezines étudié par M. CASTÉRAS m'a donné les valeurs suivantes : moyenne $k = 2100 \times 10^{-6}$; $D = 2,92$.

Les terrains encaissants sont des sables quaternaires, des calcaires et des marnes gypseuses triasiques. Tous ces terrains ont une susceptibilité très faible ; les marnes gypseuses sont même légèrement diamagnétiques.

Ophite du Cap de Montpeyroux. — Ce pointement où l'ophite a été exploitée en carrière est indiqué sur la carte géologique au 1 : 80.000^e, feuille Orthez, à 3 km. à l'Ouest de l'église de Minbaste. La carrière aujourd'hui abandonnée se trouve à 400 mètres à l'Ouest de la ferme de Pédariosse. Autour, affleurent les marnes gypseuses triasiques actuellement exploitées. J'ai mesuré la composante verticale du champ magnétique en 22 stations dont l'emplacement est représenté sur la figure 13, *a* et *b*. Les résultats figurent dans le tableau IV.

TABLEAU IV

Variomètre Askania N° 97 106 ; $\varepsilon = 32 \gamma / \text{division}$; $A = 0,15(t - t_0)$; 22 Août 1930, 7 h. 35 à 15 h.

Stations	Var. diurne Val-Joyeux	Var. diurne Tortosa	Différence 400 +	ΔZ gammas	Stations	Var. diurne Val-Joyeux	Var. diurne Tortosa	Différence 400 +	ΔZ gammas	Stations	Var. diurne Val-Joyeux	Var. diurne Tortosa	Différence 400 +	ΔZ gammas
1	213	646	33	base	9	205	643	38	+ 88	17	208	646	38	- 70
2	214	649	35	+ 3	10	204	641	37	+ 61	18	196	635	39	- 21
3	214	651	37	- 1	11	202	639	37	- 218	19	196	635	39	- 3
4	213	651	38	+ 1	12	200	638	38	- 160	20	208	646	38	0
5	213	645	32	+ 1	13	197	636	39	- 194	21	216	652	36	+ 27
6	214	649	35	+ 1	14	199	638	39	+ 146	22	218	655	37	+ 8
7	208	646	38	+ 102	15	198	637	39	+ 239	—	—	—	—	—
8	207	645	38	+ 48	16	197	636	39	- 27	—	—	—	—	—

J'ai fait figurer dans ce tableau les valeurs de la composante verticale au Val-Joyeux d'une part, à Tortosa (Ebro) d'autre part. J'ai en effet attiré l'attention (chap. I, p. 17) sur la difficulté de connaître exactement la valeur de la variation diurne de l'élément mesuré au point où l'on opère. Dans le cas présent les différences entre les valeurs aux deux observatoires sont à peu près constantes, à 7 gammas près au maximum. Comme par ailleurs la prospection a rencontré des anomalies de 250 gammas, on peut dire que dans ce cas l'erreur commise sur la variation diurne est négligeable. L'allure d'un profil NE-SW, passant par les stations où les valeurs sont maxima et minima, est représentée sur la figure 13, *c* : courbe 1 en traits pleins.

J'ai tracé à côté l'allure de la courbe théorique des variations de Z obtenue par la méthode de calcul de Nippoldt en supposant un aimant dont la distance des pôles est 1, incliné de 10° à partir

(²) In GRENET, — *Sur les propriétés magnétiques des roches*, Thèse, Paris, 1930, p. 47.

du pôle positif, celui-ci se trouvant à la profondeur 1. L'inclinaison de 10° entraîne la dissymétrie de la courbe, le minimum étant un peu moins prononcé que le maximum.

On a $\frac{\text{Valeur maximum}}{\text{Valeur minimum}} = 0,77$. Ce rapport est, pour la courbe expérimentale, de 0,90.

Les deux courbes, théorique et expérimentale, ont même allure générale. Ainsi on peut dire que le bloc d'ophite de la carrière se comporte comme un aimant très légèrement incliné sur l'horizontale et à faible profondeur. La distance des pôles de cet aimant théorique est très voisine de celle

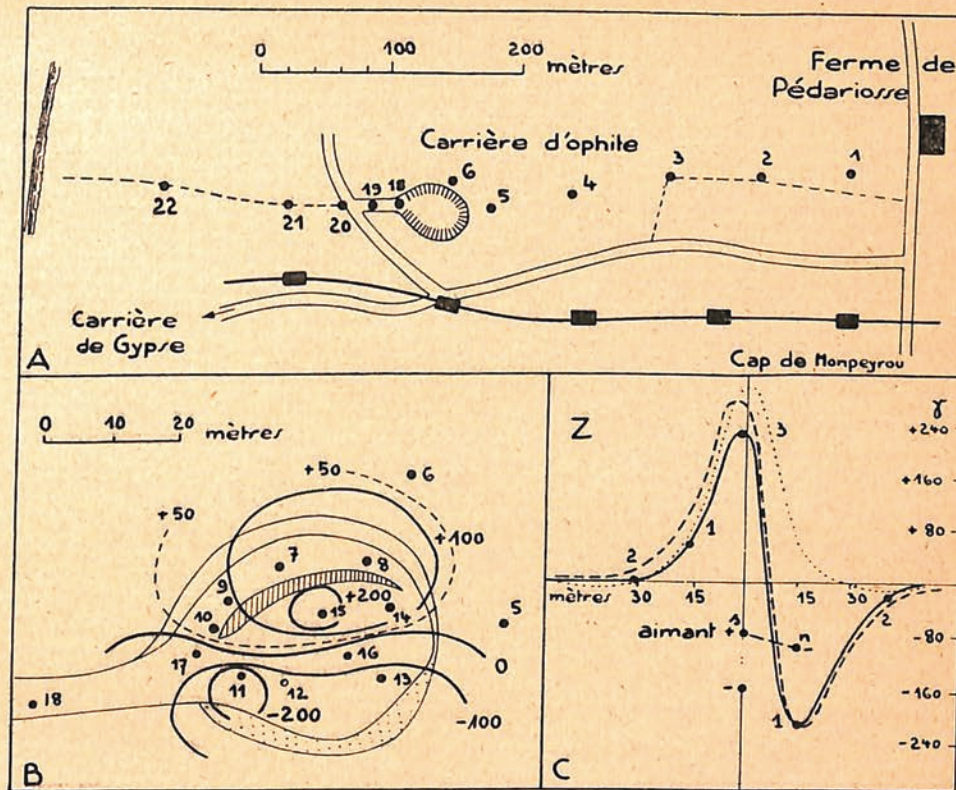


FIG. 13.

Bloc d'ophite de Montpeyroux.

A, situation ; B, prospection magnétique (numéro des stations et isanomaes) ; C, comparaison des courbes, expérimentales (1, trait plein) et théoriques correspondant à un aimant incliné de 10° (courbe 2, trait interrompu) et à un aimant vertical (3, courbe ponctuée).

qui sépare le maximum du minimum, c'est-à-dire, sur le terrain, une quinzaine de mètres environ. Cette assimilation à un aimant horizontal élimine l'hypothèse de l'enfoncement en profondeur de la roche magnétique. En effet, la variation de Z à la surface serait toute différente : elle est représentée par la courbe pointillée 3. Ce serait le cas d'un filon vertical par exemple. On n'aurait plus cette fois qu'un maximum unique et très net, maximum qui serait positif ou négatif suivant que le filon vertical serait assimilable à un aimant vertical présentant un pôle Sud ou Nord à sa partie supérieure.

L'ophite de Montpeyroux nous apparaît donc comme un bloc de dimensions très réduites, à faible profondeur, « emballé » dans les marnes gypseuses du Keuper et cette interprétation, calculée en quelque sorte, rejoint celles généralement admises par les géologues.

On admet en effet que l'ophite a été entraînée dans la venue des masses triasiques en *pli diapyr* et le mode de gisement particulier de cette roche est un témoin de la tectonique salifère.

Ophite de Saint-Pandelon. — Ce pointement situé non loin du précédent, à quelques kilomètres au Sud de Dax, va nous fournir un exemple d'un mode de gisement différent. Les résultats sont représentés sur la figure 14 : la valeur relative de Δz en chaque station est portée sur la carte : j'ai pris comme zéro arbitraire la lecture moyenne aux stations non perturbées des environs de Dax.

Sur cette carte, la zone hachurée correspond à l'affleurement d'ophite tel qu'il est figuré sur

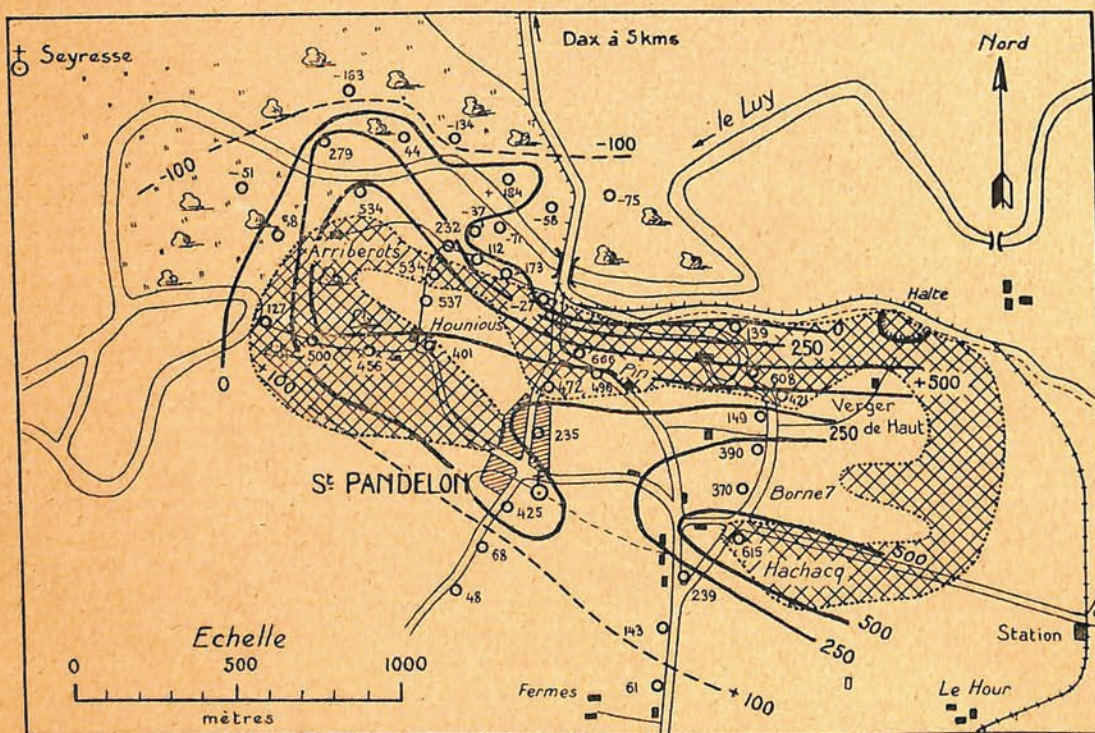


FIG. 14.

Prospection magnétique du massif ophitique de Saint-Pandelon.
Valeurs en gammas de la composante verticale aux différentes stations.
(23 au 29 août 1930).

la carte géologique au 1 : 80.000^e, feuille d'Orthez. Les courbes d'égale intensité verticale 0 γ et 500 γ sont tracées en traits pleins ; les courbes + 100 γ et - 100 γ sont en traits interrompus.

La courbe 0 γ suit le bord Nord du plateau d'ophite, puis, en s'écartant davantage, traverse le Luy et recoupe ensuite le grand méandre à l'Ouest de la ferme d'Arriberots, en se tenant toujours à une certaine distance du plateau. La courbe + 500 γ englobe presque partout l'affleurement tel qu'il est figuré sur la carte géologique ; au Nord-Ouest elle le déborde pour s'avancer sur les prairies qui bordent le Luy (station 32, au bord du Luy, + 534 γ). L'ophite doit donc exister là sous les alluvions récentes. Au Sud-Est, dans la région des fermes de Hachacq la courbe + 500 γ coïncide avec le figuré de la carte géologique. L'amplitude de l'anomalie dépasse 600 γ en plusieurs points du plateau sur son bord nord, + 670 γ près de la ferme du Pin, + 610 γ plus à l'Est, + 615 γ au

Verger Haut. Grâce à cette grande anomalie on peut suivre très exactement les contours du « massif » ophitique. En particulier la sinuosité de la courbe O₇ à l'Ouest du pont de la route de Dax correspond à une région où l'ophite manque : en effet une ancienne carrière, après avoir exploité un peu d'ophite, a retrouvé *en dessous* les argiles rouges triasiques. De même à l'Est de l'église de Saint-Pandelon, la carte montre une région où Z est moins grand, (+ 235 γ , stat. 7 ; + 149 γ , stat. 14).

Ici donc l'anomalie est presque partout positive et continue sur de grandes distances ; elle contraste avec celle tout à fait réduite et dissymétrique du Cap de Montpeyroux : il s'agit d'un grand massif en place ou équivalent à un massif en place. Au Nord cependant le réseau comprend quelques stations où les valeurs sont nettement anormales par défaut par rapport à la valeur normale de la région (— 134 γ , — 58 γ , — 75 γ , etc.). Ces valeurs qui jalonnent approximativement une isanomale — 100 γ s'expliquent par l'effet d'induction tel que l'a calculé Königsberger. J'en signalerai d'autres exemples plus loin.

Autres ophites pyrénéennes : *Observations du Commandant Gorceix dans les Basses-Pyrénées.*

— Le magnétisme des ophites pyrénéennes avait été remarqué par le commandant GORCEIX ⁽¹⁾ lors du levé du plan directeur de Saint-Jean-Pied-de-Port (Basses-Pyrénées). Le déclinatoire devait être abandonné pour les cheminements et les levés. Dans la région de Bayonne, l'ophite est moins magnétique et l'auteur voyait là une confirmation de ses idées quant à l'âge différent des ophites de Saint-Jean-Pied-de-Port et de Bayonne. Le Commandant Gorceix a trouvé des *rogions d'ophite présentant les deux pôles* ; ces échantillons ont été déposés au Musée de Bayonne.

Cette constatation d'une double polarité est conforme aux résultats de ma prospection magnétique.

II. — BASALTES DE LORRAINE

A) Côte d'Essey

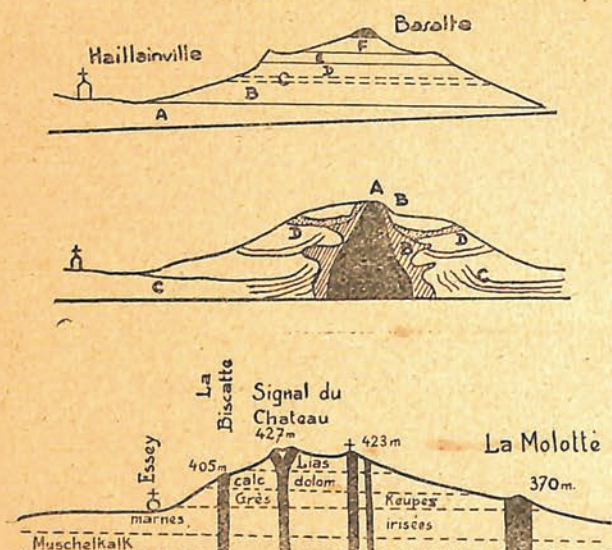
Introduction. — Sur les confins des départements de Meurthe-et-Moselle et des Vosges, au Sud de Lunéville, émerge au-dessus de la plaine triasique une montagne régulièrement conique, la côte d'Essey (427 mètres d'altitude), qui apparaît traversée sur son flanc nord et sur son sommet par de larges filons de roches basaltiques. La forme conique de la côte d'Essey et le fait qu'on rencontre sur ses pentes un grand nombre de scories et de blocs éboulés des roches basaltiques qui affleurent au sommet l'avaient fait considérer par les anciens auteurs comme un volcan homogène.

En réalité la mise en relief de la côte provient seulement de la protection contre l'érosion, par les filons basaltiques, des couches du *Keuper*. Les points hauts de la crête correspondent chacun à l'un des filons ou groupe de filons (levé topographique, planche II) : du Sud au Nord, la pointe de la Biscatte (403 mètres), le Signal du Château (427 mètres), la pointe de la Croix (423 m.), enfin sur le flanc nord, la Molotte (370 m.) ; ce dernier point avait été considéré par les premiers auteurs comme un cratère adventif.

Dans son ensemble la côte est constituée par une série de couches triasiques et liasiques faiblement inclinées vers le Sud-Est et comprenant des calcaires marneux du *Muschelkalk* à la base,

(1) Notes manuscrites inédites, 1894.

puis les différents termes du *Keuper*, marnes bariolées rouges et vertes, grès jaunes calcaires dolomitiques ; enfin, en stratification concordante, les grès grossiers à *Avicula contorta* du *lias inférieur* ; au sommet affleurent des calcaires noduleux bleuâtres à gryphées arquées du *Sinemurien*. Vélain ⁽¹⁾, qui a étudié le basalte d'Essey et en a donné une abondante bibliographie, admet que les filons de basalte sont disposés verticalement ou légèrement inclinés avec un angle de 7° à 8°. Nous verrons que la carte magnétique comme d'ailleurs l'observation morphologique et les sondages effectués



Interprétation Elie de BEAUMONT :

A, muschelkalk ; B, marnes irisées inférieures ; C, dolomie ; D, calcaire magnésien (gros banc) ; E, keupersandstein ; F, marnes irisées supérieures.

Interprétation LEBRUN (1848) :

A, basalte prismatique ; B, basalte altéré ; C, muschelkalk ; D, keupersandstein.

Interprétation VÉLAIN (1884).

FIG. 15.

Différentes interprétations géologiques de la côte d'Essey.

sur le terrain par Lebrun en 1848 conduisent à leur trouver une inclinaison plus grande (coupe, fig. 16 et vue d'ensemble, fig. F, planche I).

J'ai résumé par le schéma figure 15 les diverses interprétations géologiques proposées pour expliquer la côte d'Essey : massif unique de basalte, lambeau de coulée formant carapace au sommet, filons verticaux.

Le basalte d'Essey, en général dépourvu d'éléments feldspathiques, appartient au type néphélinique ; par endroits la roche passe à une véritable *limburgite*, analogue d'après l'examen pétrographique aux *limburgites* du Kaiserstuhl. Ce basalte renferme une grande quantité de magnétite qui peut être facilement séparée à l'aimant dans la roche pulvérisée. En 1849 déjà, Delesse, dans son ouvrage « sur le pouvoir magnétique des roches » (Annales des Mines) signalait le « pouvoir magnétique » important des basaltes d'Essey.

Les mesures de susceptibilité m'ont donné les résultats suivants :

	$k \times 10^{-6}$	D
Calcaire du Muschelkalk	2,4	2,69
Grès keuper	10,5	2,20
Calcaire à gryphées	3,4	2,45
Calcaire vacuolaire (keuper).....	4,2 à 5,3	2,65
Basalte (La Molotte)	12000 à 20000	3,07

(1) VÉLAIN. — Bull. Soc. Géol. France, 3^e série, XIII, 1884-1885, p. 565-572, Paris, 1885.

Exécution des mesures magnétiques ; travail topographique (1). — J'ai mesuré entre le 8 et le 24 mai 1935 les variations de la composante verticale du champ magnétique en 310 stations réparties sur environ 50.000 mètres carrés, soit une station par 160 mètres carrés. Cette densité, nécessaire pour tracer avec exactitude les isogammes, a même été largement dépassée dans certaines parties du réseau. En même temps, j'ai exécuté un levé topographique complet à la planchette avec nivellement à la règle à éclimètre. On pourra ainsi comparer exactement les courbes magnétiques et les courbes topographiques et discuter l'influence du relief (Planches II et III). Ces levés qui portent des repères précis tels que la borne géodésique du « signal du château », la croix du « signal de la croix » et les détails du terrain, permettront, je l'espère, une comparaison éventuelle, dans quelques années par exemple, avec des levés ultérieurs pour l'étude de la question controversée de la déformation des anomalies.

TABLEAU V

Date	Heure T. M. G.	Lecture brute	Valeur en gammas de la comp. vert. au Val-Joyeux (Valeur relative)	Correction de variation diurne en divisions d'échelle	Lecture corrigée	Correction complémentaire en divisions d'échelle
8 mai	6 ^h 15	26,61	51	— 2,04	24,57	— 0,6
id.	10 ^h 40	25,08	32	— 1,28	23,80	+ 0,2
id.	12 ^h 10	25,18	22	— 0,88	24,30	— 0,3
id.	15 ^h 10	25,98	38	— 1,52	24,46	— 0,3
id.	16 ^h 55	26,25	47	— 1,88	24,37	— 0,3
9 mai	10 ^h 35	24,98	30	— 1,20	23,78	+ 0,2
10 mai	6 ^h 20	25,96	48	— 1,92	24,04	+ 0,0
id.	11 ^h 35	24,53	19	— 0,76	23,77	id.
id.	12 ^h 00	24,60	17	— 0,68	23,92	id.
id.	18 ^h 30	25,93	55	— 2,20	23,73	id.
11 mai	6 ^h 30	24,93	43	— 1,72	23,21	+ 0,8
id.	13 ^h 40	25,06	26	— 1,04	24,02	— 0,0
21 mai	12 ^h 40	24,08	20	— 0,80	23,28	+ 0,5
id.	18 ^h 00	23,25	42	— 1,68	21,57	+ 2,4
22 mai	6 ^h 30	22,96	42	— 1,68	21,28	+ 2,5
id.	17 ^h 55	22,76	42	— 1,68	21,08	+ 2,8
23 mai	6 ^h 15	23,03	39	— 1,56	21,47	+ 2,7
id.	15 ^h 25	22,65	43	— 1,72	20,93	+ 3,0
24 mai	8 ^h 25	21,75	39	— 1,56	20,19	+ 3,0
id.	18 ^h 10	23,10	53	— 2,12	20,98	+ 3,0

Mesures préliminaires : valeur normale de base. — Des mesures effectuées le long du chemin qui monte du village d'Essey au sommet de la « côte » ont montré que l'anomalie due aux filons basaltiques ne s'étend pas au delà de 80 ou 100 mètres de part et d'autre de la ligne de crête. Les valeurs obtenues le long de ce chemin diffèrent entre elles de moins de 5 gammas. Elles peuvent donc être considérées comme représentant la valeur normale de l'élément magnétique dans la région prospectée et toutes les stations du réseau seront rapportées à cette valeur normale prise comme zéro.

Cette valeur normale était mesurée matin et soir en une station de base A située sur le chemin

(1) Je remercie M. Schindler, ingénieur, qui m'a prêté son concours dans l'établissement du levé topographique.

de terre qui relie Essey au sommet de la côte, à 220 mètres au SSW de la chapelle de Sainte-Colombe et à 600 mètres environ, à vol d'oiseau, du signal géodésique du sommet de la côte. Les coordonnées de ce point en carroyage Lambert (carte 1 : 50.000^e, agr. photographique du 1 : 80.000^e) sont :

$$x = 405,850 ; \quad y = 181,400$$

On trouvera Tableau V les lectures de Z à cette station de base. Après application des corrections de variation diurne telles qu'elles résultent des chiffres fournis par l'observatoire du Val-Joyeux ; certaines valeurs présentent encore des divergences considérables qui sont dues, en partie à ce que la variation diurne de Z est légèrement différente à Essey de ce qu'elle est à Paris, en partie aussi aux fortes variations de température observées (de + 6° à + 28°), bien que l'appareil soit compensé, enfin à des déplacements du zéro pour des causes accidentelles.

On remarquera néanmoins sur ce tableau que certains jours, le 10 mai par exemple, les lectures corrigées diffèrent de moins d'un dixième de division d'échelle (2 gammas) bien que les corrections appliquées dépassent 30 gammas.

Stations de base auxiliaires. — Plusieurs mesures furent répétées en certaines stations du réseau, celles-ci servant de stations de base auxiliaires.

Le tableau VI résume les données obtenues à la station 120, située sur un des pointements de basalte, et permet de comparer ces lectures corrigées de la variation diurne à celles que j'ai obtenues parallèlement à la station de base A.

TABLEAU VI

Date	Heure	Station A	Station 120	Différence 120-A		Température de l'air
				Divisions	gammas	
8 mai	6 ^h 15 ; 7 ^h 35	24,57	29,43	4,86	121	7° à 11°
21 mai	13 ^h 10 ; 12 ^h 40	23,28	29,11	5,83	146	18° à 22°
22 mai	6 ^h 30 ; 7 ^h 00	21,28	25,81	4,53	113	8° à 9°
23 mai	6 ^h 15 ; 6 ^h 35	21,47	25,68	4,12	105	12° à 12°5
24 mai	8 ^h 25 ; 8 ^h 45	20,19	25,99	5,80	145	14°5 à 16°

La différence en gammas entre les deux stations subit des variations importantes d'une quarantaine de gammas qui dépassent les erreurs habituelles. On peut se demander si ces écarts sont dus à des variations du zéro de l'appareil pendant le transport entre les 2 stations, bien que ce transport se soit toujours effectué sans aucun heurt, l'appareil étant transporté dans sa boîte tenue à la main. Comme d'autre part les variations de la température de l'air sont considérables, certaines journées ayant été froides, d'autres au contraire très ensoleillées, on peut aussi se demander si les conditions thermiques de l'atmosphère n'auraient pas une influence sur l'aimantation permanente des masses de basalte, par une variation de température des couches superficielles par exemple. Les quelques données ci-dessus ne permettent que de poser la question ; des mesures plus détaillées, répétées un grand nombre de fois, en même temps que la mesure de la température même du sol,

seraient nécessaires. On remarquera simplement que les plus petites différences entre les deux stations de base correspondent aux températures les plus basses ⁽¹⁾.

Le tableau VII donne les résultats concernant la station 143 et la comparaison avec les valeurs obtenues à la station de base principale A :

TABLEAU VII

Date	Heure	Station A	Station 143	Différence 143-A		Température de l'air.
				en divisions	en gammas	
8 mai	6 ^h 15 ; 7 ^h 25	24,57	27,03	2,46	61	12°4 à 8°0
8 mai	15 ^h 25 ; 16 ^h 55	24,46	26,51	2,05	52	14°8 à 13°9
9 mai	11 ^h 00 ; 10 ^h 35	23,78	26,01	2,23	56	7°3 à 6°8
10 mai	6 ^h 20 ; 7 ^h 25	24,04	26,19	2,15	54	13°5 à 7°3
11 mai	11 ^h 42 ; 13 ^h 40	24,02	26,03	2,01	50	26°8 à 28°0

Cette fois, malgré les variations de température assez grandes aussi bien pendant le transport de l'appareil entre les 2 stations qu'entre les couples de mesure, la différence entre les deux stations reste constante à quelques gammas près. Il y a lieu de remarquer que la station 143 est située dans une région où le basalte, s'il existe, est sans doute à une grande profondeur et ne saurait être atteint par les variations locales de température.

Correction complémentaire de base. — On a vu par les tableaux précédents que la valeur de base, pour des causes diverses, ne reste pas constante et que ses variations se retrouvent avec plus ou moins d'approximation dans les valeurs des stations auxiliaires de base. Pour rendre comparables entre elles les mesures effectuées sur l'ensemble du réseau au cours des différentes journées de prospection, il est donc nécessaire d'appliquer à ces mesures une correction complémentaire due à la variation de la valeur de base. Cette correction sera déterminée à la station de base de telle façon que les lectures y soient ramenées à une valeur choisie une fois pour toutes ; on a choisi la lecture 24,0. Lorsque ces corrections, calculées le matin et le soir à la station de base d'après le tableau V diffèrent entre elles, cette différence est répartie proportionnellement au temps afin de distribuer l'erreur sur les différentes stations effectuées au cours de la journée.

Les mesures répétées aux stations auxiliaires, en faisant abstraction des écarts dus, dans l'hypothèse proposée ci-dessus, à des variations locales d'aimantation, justifient l'emploi de cette correction complémentaire de base et permettent de préciser sa valeur.

Cette correction complémentaire ainsi déterminée a varié de + 20 gammas à — 15 gammas pendant la première partie des mesures (8 au 12 mai) et de + 15 à + 75 gammas dans la deuxième partie (21 au 24 mai 1935).

Calcul des anomalies aux différentes stations du réseau. — Je donnerai tableau VIII un exemple

⁽¹⁾ J. COULOMB (*L'anomalie magnétique du Puy-de-Dôme*, Bull. de l'Inst. et Observ. de Physique du Globe du Puy-de-Dôme, n° 6, 1933, p. 65-93), en refaisant les mesures exécutées trente ans auparavant par BRUNHES, a trouvé d'importantes variations dans la forme de l'anomalie locale du Puy-de-Dôme, variations dont l'explication est encore incertaine et qui sont peut-être dues à l'altération des couches superficielles de « domite ».

du calcul détaillé des anomalies pour une série de stations du réseau. Je rappelle qu'en chaque point l'anomalie Z est donnée par la formule

$$Z = (n_1 - 24,0) \times 25 + c - z \pm F$$

avec n_1 = lecture (moyenne des lectures à l'ouest et à l'est).

24,0 = lecture de base.

25 = Valeur d'échelle (1 division d'échelle = 25 gammas).

c = correction complémentaire de base.

z = valeur relative de la composante verticale à l'Observatoire du Val-Joyeux à partir d'un zéro arbitraire.

F = champ de l'aimant auxiliaire employé éventuellement dans les régions de grandes perturbations. On a vu, p. 20 comment déterminer la valeur du champ de l'aimant employé.

TABLEAU VIII

Numéro d'ordre de la station	Date (1935)	Heure (T. M. G.)	Température	Lecture à l'Ouest	Lecture à l'Est	Moyenne n_1	Réduction à la valeur de base $n_0 = 24,0$ $n_1 - n_0$	Valeur en gammas $(n_1 - n_0) \times 25 = Z_1$	Corr. de var. diurne Valeur z à l'observat.	$Z_1 - z = Z_2$	Correction complémentaire c	$Z_2 + c = Z_3$	— Champ de l'aimant auxiliaire	Anomalie totale en gammas	Observations Nature et distance des aimants auxiliaires utilisés
60	22 V	8 ^h 12	15 ^o 3	9,20	9,90	9,55	-14,45	-361	38	-399	+65	-334	—	-330	Aimant II ; distance 250 mm. Pôle nord vers le bas Aimant II ; distance 310 mm. Pôle nord vers le haut. Aimant II ; distance 310 mm. Pôle nord vers le haut Aimant II ; distance 310 mm. Pôle nord vers le haut idem. idem.
61	»	8 ^h 25	15 ^o 3	16,70	16,57	16,63	-7,36	-185	35	-220	+65	-155	-3200	-3360	
62	21 V	17 ^h 39	19 ^o 5	-3,95	-4,13	-4,04	-28,04	-700	40	-740	+55	-685	+1725	+1040	
63	»	17 ^h 33	20 ^o 2	52,05	52,03	52,04	+28,04	+700	40	+660	+55	+715	—	+715	
64	»	17 ^h 22	20 ^o 8	27,07	27,05	27,06	+3,06	+76	40	+36	+52	+88	—	+90	
65	»	17 ^h 18	21 ^o 2	21,00	20,80	20,90	-3,10	-77	39	-116	+52	-64	—	-60	
66	»	17 ^h 10	21 ^o 3	32,37	32,50	32,43	+8,43	+211	39	+172	+52	+224	+1725	+1950	
67	»	17 ^h 05	21 ^o 5	19,20	18,93	19,06	-4,94	-123	38	-161	+52	-109	+1725	+1620	
68	23 V	12 ^h 23	18 ^o 4	16,13	16,26	16,20	-7,80	-195	22	-217	+62	-155	—	-155	
69	22 V	7 ^h 54	13 ^o 5	19,27	20,07	19,67	-4,33	-108	40	-148	+65	-83	—	-80	
70	21 V	17 ^h 27	20 ^o 5	16,97	16,30	16,63	-7,37	-184	40	-224	+55	-169	—	-170	
71	»	14 ^h 18	22 ^o 7	16,00	15,70	15,85	-8,15	-202	29	-231	+35	-196	—	-200	
72	»	16 ^h 08	21 ^o 0	1,37	1,10	1,23	-22,77	-569	35	-604	+45	-559	—	-560	
73	»	12 ^h 02	21 ^o 2	0,30	0,07	0,18	-23,82	-596	35	-631	+45	-586	+1725	+1140	
74	»	15 ^h 47	22 ^o	5,64	5,50	5,57	-18,43	-461	34	-495	+45	-450	+1725	+1270	
75	»	16 ^h 15	22 ^o 8	30,13	30,48	30,30	+6,30	+157	34	+123	+42	+165	+1725	+1890	

PLANCHE I

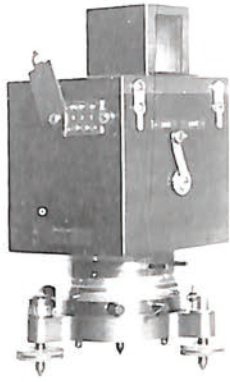


FIG. A.

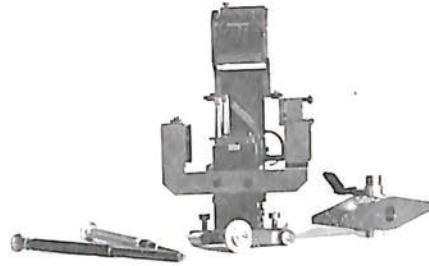


FIG. B.
Appareil Rothé-CARPENTIER

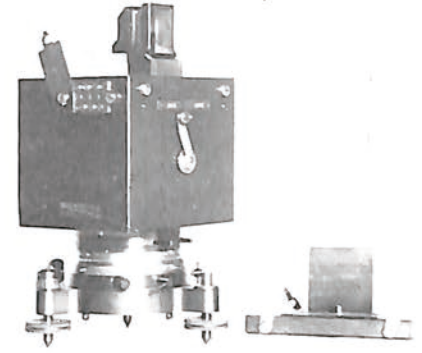


FIG. C.



FIG. D.
Règle à éclinètre GOUTIERE

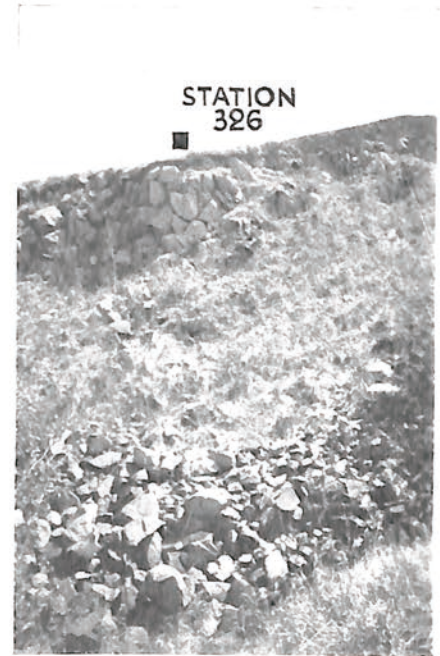


FIG. E.
Filon basaltique de la Molotte.

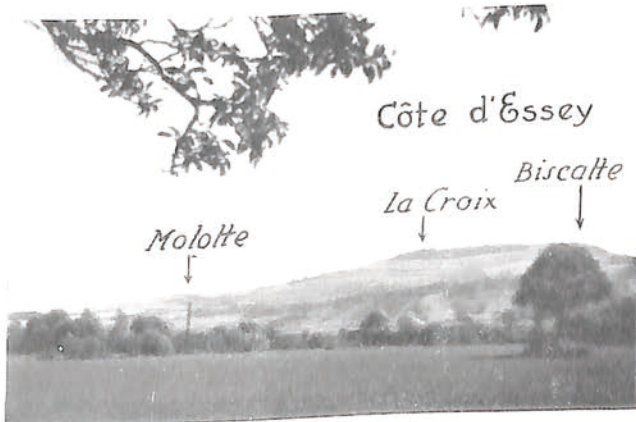


FIG. F.
Vue générale.

La Côte d'Essey.

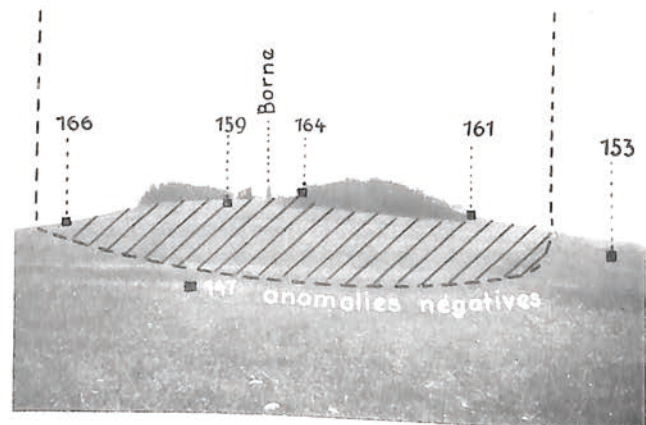
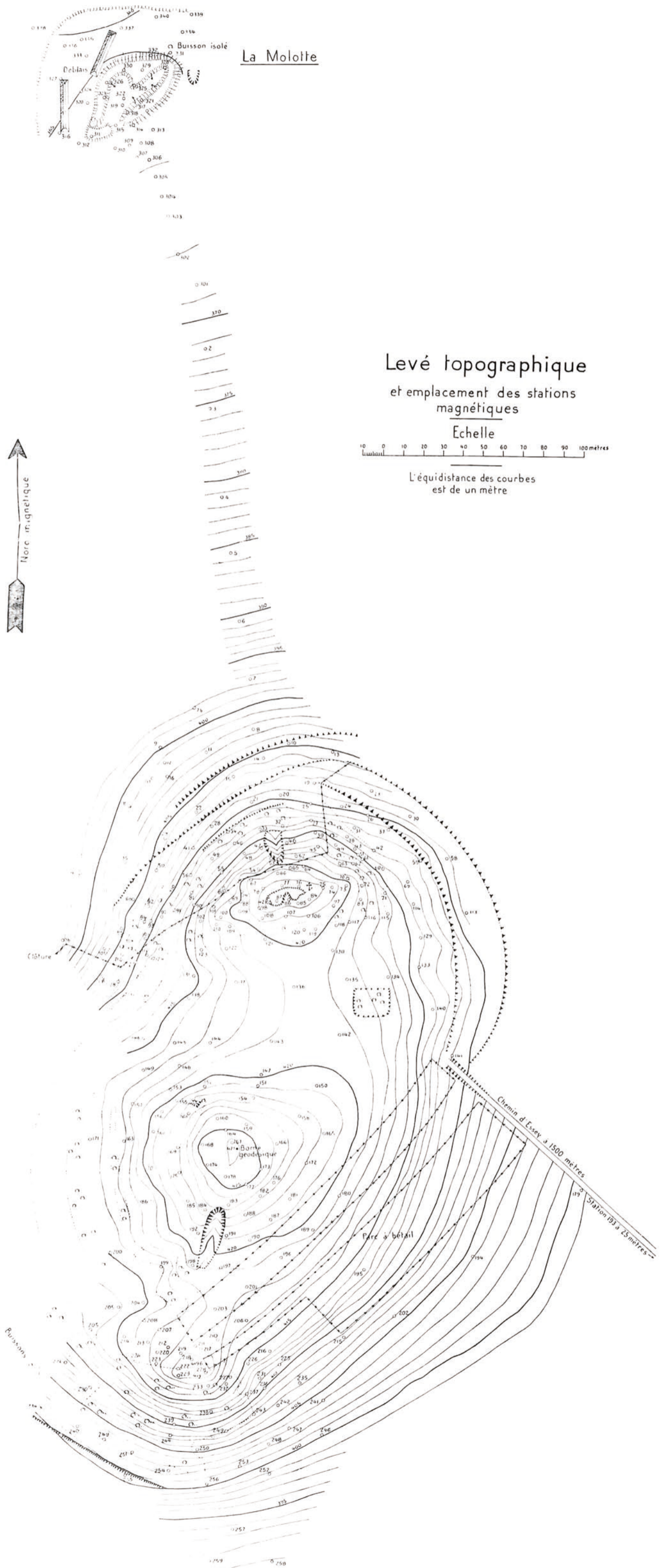


FIG. G.
Le signal du Château.

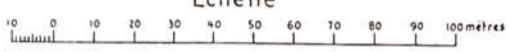
PLANCHE II



La Molotte

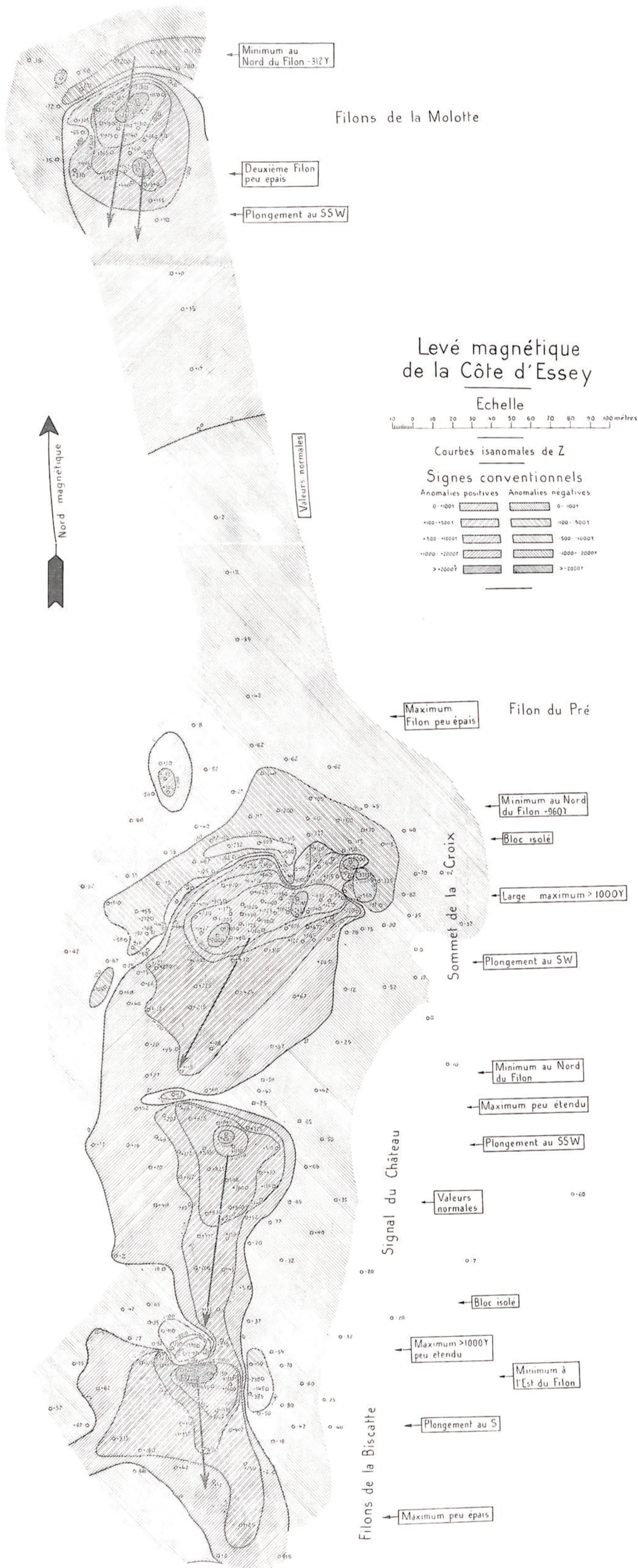
Levé topographique
et emplacement des stations
magnétiques

Echelle



L'équidistance des courbes
est de un mètre







Résultats et interprétation des mesures magnétiques (planche III).

A) *Filons de la Molotte.* — Les stations sont numérotées du Sud au Nord de 301 à 340 à partir du col qui sépare la côte d'Essey proprement dite de la butte de la Molotte.

TABLEAU IX

Station	Anomalie	Station	Anomalie	Station	Anomalie	Station	Anomalie	Station	Anomalie
301	+ 35 γ	309	+ 750 γ	317	+ 860 γ	325	+ 3450 γ	333	- 370 γ
302	+ 40	310	+ 380	318	+ 1740	326	+ 1550	334	- 280
303	+ 70	311	+ 500	319	+ 1875	327	- 72	335	- 68
304	+ 90	312	+ 330	320	+ 65	328	+ 1180	336	+ 95
305	+ 155	313	+ 500	312	+ 1310	329	+ 5000	337	- 200
306	+ 540	314	+ 560	322	+ 1380	330	+ 1382	338	- 35
307	+ 448	315	+ 765	323	+ 1800	331	+ 8	339	- 132
308	+ 1340	316	- 35	324	+ 305	332	+ 1528	340	- 310

Ces chiffres du tableau IX montrent que l'élément magnétique augmente progressivement à l'approche de la butte. La carte fait ressortir un premier maximum isolé (station 308) de 1300 gammas environ, puis un maximum plus large et plus important (station 325-329) qui dépasse 3000 gammas et qui correspond au pointement basaltique visible (phot. fig. E, planche I). Le premier maximum ne peut s'expliquer par l'examen du terrain tel qu'il se présente actuellement. Au contraire les travaux de Lebrun résumés par le profil géologique figure 16 montrent qu'en avant du filon principal

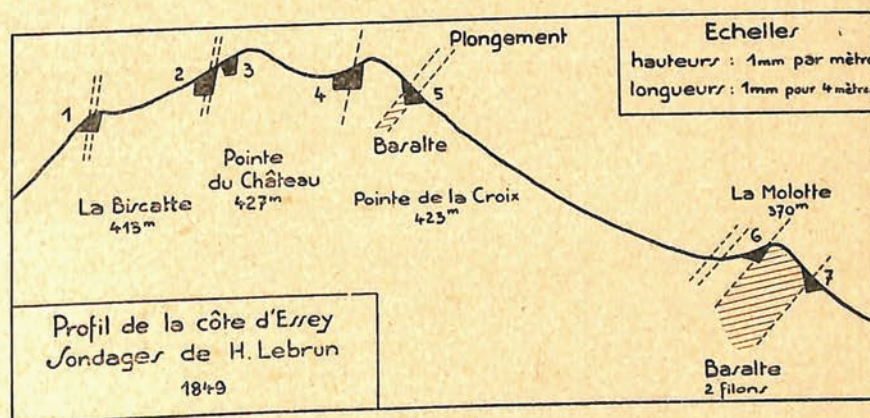


FIG. 16.

Sondages de H. LEBRUN sur la côte d'Essey.

de la Molotte existe un autre filon d'épaisseur beaucoup moindre : c'est ce filon, actuellement invisible qui explique la première anomalie.

En dépassant vers le nord le mur basaltique (exploité pendant la grande guerre en carrière), le champ magnétique passe par un minimum (valeurs négatives jusqu'à 300 gammas). Cette zone de minimum correspond à une région où le basalte n'existe plus en profondeur et nous verrons qu'il faut l'expliquer par un phénomène d'induction.

Enfin un profil magnétique nord-sud montre une dissymétrie très nette de la courbe de Z ; cette courbe indique que les filons de la Molotte ne sont pas verticaux mais plongent fortement vers le Sud. Le relief de la butte de la Molotte conforme au plongement du filon est donc une forme structurale.

B) *Pente Nord de la Côte et nouveau filon du Pré.*

TABLEAU X

Station	Anomalie	Station	Anomalie	Station	Anomalie	Station	Anomalie	Station	Anomalie
1	+ 35	4	— 2	7	— 40	9	+ 50	16	+ 100
2	+ 17	5	— 12	7 bis	— 10	11	— 50	17	— 58
3	0	6	— 35	8	— 62	12	+ 190	18	— 60

Les premières stations du bas de la Côte indiquent une valeur normale très comparable à celle de la station de base (située à 800 mètres à l'Est). Les suivantes accusent une décroissance lente sous l'influence de la masse basaltique du signal de la Croix.

Le fait intéressant est l'existence d'une anomalie positive relativement faible mais bien définie et de forme à peu près circulaire (stations 9, 12, 16). En l'absence de causes visibles de perturbation on est en droit d'expliquer cette anomalie par la présence en profondeur d'un *filon basaltique encore inconnu*. Nous l'avons fait figurer sur la carte sous le nom de filon du Pré.

C) *Signal de la Croix* (Tableau XI). — Le basalte y forme un filon important ; les anomalies magnétiques sont considérables ; la densité des stations a été fortement augmentée afin d'obtenir une représentation de la perturbation voisine de la réalité. Cette perturbation se divise en plusieurs zones bien caractérisées.

TABLEAU XI

Station	Anomalie	Station	Anomalie	Station	Anomalie	Station	Anomalie	Station	Anomalie
10	— 60	43	+ 3000	70	— 170	97	+ 400	124	+ 250
13	— 60	44	+ 610	71	— 200	98	+ 1910	125	+ 75
14	— 148	45	+ 265	72	— 560	99	+ 1725	126	— 110
15	— 27	46	— 960	73	+ 1140	100	+ 2050	127	+ 70
19	— 100	47	+ 310	74	+ 1270	101	+ 1200	128	+ 70
20	— 200	48	+ 255	75	+ 1890	102	+ 1420	129	0
21	— 120	49	— 105	76	+ 2290	103	— 80	130	+ 20
22	— 40	50	— 175	77	+ 1980	104	— 220	131	+ 220
23	— 45	51	+ 2520	78	+ 1100	105	— 90	132	+ 40
24	— 160	52	+ 100	79	+ 1820	106	+ 470	133	— 10
25	— 160	53	+ 640	80	+ 925	107	+ 700	134	— 50
26	— 130	54	+ 650	81	+ 500	108	+ 1260	135	— 10
27	— 320	55	+ 820	82	— 270	109	+ 1480	136	+ 67
28	— 250	56	— 5	83	+ 220	110	+ 1950	137	+ 420
29	— 55	57	— 110	84	+ 1040	111	+ 130	138	+ 215
30	— 40	58	— 60	85	+ 2450	112	— 75	139	+ 130
31	— 175	59	— 70	86	+ 1825	113	— 30	140	0
32	— 315	60	— 330	87	+ 1725	114	— 35	141	0
33	— 600	61	— 3360	88	+ 1480	115	— 30	142	— 25
34	— 730	62	+ 1040	89	+ 1375	116	— 75	143	+ 57
35	— 55	63	+ 715	90	+ 1130	117	— 30	144	+ 110
36	— 50	64	+ 90	91	+ 450	118	+ 70	145	+ 95
37	— 115	65	— 60	92	— 140	119	+ 190	146	+ 16
38	— 150	66	+ 1950	93	— 170	120	+ 120	147	— 60
39	+ 130	67	+ 1620	94	— 190	121	+ 320	148	+ 115
40	— 170	68	— 155	95	— 80	122	+ 430	149	+ 30
41	— 490	69	— 80	96	— 40	123	+ 410		

1° Au nord du signal, sur le versant fortement incliné, une zone de minimums en forme semi-circulaire (toutes les stations de la première colonne du tableau XI, avec extrême à la station 46, — 960 gammas, à proximité des déblais du sondage n° 5 de Lebrun).

2° Une large zone de maximums importants et uniformes : stations 73 à 79, 84 à 90, 98 à 102 ; pour 24 stations voisines l'anomalie est supérieure à + 1000 gammas, mais elle ne dépasse 2000 gammas qu'en quatre stations. Cette zone définit l'affleurement du filon. Les quatre stations où l'anomalie est supérieure à 2000 gammas forment deux maximums isolés qu'il faut sans doute expliquer par les observations du géologue Lebrun : « D'autres filons plus petits et paraissant appartenir à une autre série de phénomènes d'apparition (basanites) occupent le sommet ; leur plongement se rapproche davantage de la verticale, tandis que la masse basaltique est plus fortement inclinée ».

3° Une zone d'anomalies positives décroissant progressivement vers le Sud-Ouest. Comme pour les filons de la Molotte cette zone correspond au plongement du filon vers le Sud-Ouest.

4° Grâce à la grande densité des stations, j'ai pu mettre en évidence une anomalie très forte sur un espace très limité et qui se caractérise par le brusque passage d'une très forte valeur positive (+ 3000 γ à la station 43) à une très forte valeur négative (— 3360 γ à la station 61). Or ces deux stations sont distantes de 7 mètres seulement : une telle perturbation est celle que produirait un aimant placé au niveau du sol et sensiblement horizontal, puisque les valeurs absolues des extrêmes négatifs et positifs sont presque identiques autant que les points mesurés peuvent l'indiquer. Un tel aimant peut se former par désagrégation du basalte dont un morceau se trouve ainsi détaché de la masse uniformément aimantée du filon. Le morceau isolé se comporte alors comme un véritable aimant avec deux pôles bien caractérisés de signe contraire. Nous verrons dans un autre chapitre qu'une telle supposition a été admise par Heiland pour interpréter les résultats de la prospection d'un gisement de magnétite.

Nous devons cependant ici faire une réserve car, si l'axe magnétique de cet aimant fictif est parallèle au méridien magnétique actuel, son pôle nord (anomalie négative) est dirigé vers le Sud actuel. Cette aimantation n'est donc pas conforme à l'aimantation du filon lui-même et on peut se demander si la perturbation mesurée ne serait pas accidentelle, due à la foudre par exemple (chap. I, p. 25).

5° On retrouve exactement la valeur normale de la station de base aux stations 129, 140, 141 situées au bord Est de la crête ; les anomalies sont donc bien limitées au sommet même de la côte d'Essey.

D) Filon du signal du Château.

TABLEAU XII

Station	Anomalie	Station	Anomalie	Station	Anomalie	Station	Anomalie	Station	Anomalie
150	— 40 γ	161	+ 875 γ	172	— 70	183	+ 560	194	— 10
151	— 40	162	+ 50	173	+ 430	184	+ 840	195	— 20
152	+ 70	163	+ 20	174	+ 825	185	+ 85	196	— 30
153	— 125	164	+ 2570	175	+ 100	186	+ 48	197	+ 145
154	— 25	165	— 50	176	+ 130	187	— 80	198	+ 270
155	+ 680	166	+ 510	177	+ 780	188	+ 50	199	— 20
156	+ 210	167	+ 1170	178	+ 510	189	— 40	200	+ 0
157	+ 50	168	+ 585	179	+ 0	190	— 20	201	+ 5
158	— 65	169	+ 122	180	— 35	191	+ 260	202	— 20
159	+ 225	170	+ 20	181	— 85	192	+ 400	203	+ 140
160	+ 850	171	+ 12	182	+ 340	193	+ 10	204	— 65

Les mêmes caractères rencontrés dans les groupes précédents se retrouvent au signal du Château, mais atténués : 1^o zone de minimum au nord (station 153, — 125 gammas) ; 2^o zone de maximum très peu étendue ; le maximum est situé un peu au nord-ouest de la borne géodésique qui marque le point culminant de la côte ; 3^o le plongement du filon au SSW est particulièrement net ; on remarquera que, d'après le levé magnétique comparé au levé topographique, la masse principale de basalte se trouve non pas au point culminant, mais au signal de la Croix. Le signal du Château s'est trouvé protégé contre l'érosion non seulement par le filon de basalte qui en forme le sommet mais surtout par le plongement vers le Sud-Ouest de la masse beaucoup plus importante du filon de la Croix.

E) *Filon et bloc isolé de la Biscatte.*

TABLEAU XIII

Station	Anomalie	Station	Anomalie	Station	Anomalie	Station	Anomalie	Station	Anomalie
205	— 40 γ	216	— 55 γ	227	+ 1730 γ	238	+ 1450 γ	249	+ 400
206	— 40	217	— 465	228	+ 2750	239	+ 360	250	+ 620
207	— 110	218	— 325	229	+ 2200	240	— 60	251	+ 280
208	— 35	219	— 1800	230	+ 60	241	— 25	252	+ 0
209	+ 5	220	+ 523	231	— 230	242	— 80	253	+ 260
210	+ 270	221	— 55	232	+ 1600	243	— 50	254	+ 40
211	— 1350	222	+ 2060	233	+ 1650	244	+ 360	255	— 50
212	— 730	223	+ 880	234	— 50	245	+ 330	256	+ 10
213	— 50	224	+ 105	235	— 60	246	— 40	257	+ 125
214	— 30	225	— 70	236	— 145	247	— 40	258	+ 15
215	— 30	226	— 150	237	— 385	248	— 20	259	0

Les mesures nous montrent encore un filon plongeant vers le Sud (direction de la station 229 vers la station 250). En outre les stations situées au sommet de la Biscatte se divisent en 2 groupes, les unes où l'anomalie est fortement négative, — 1350, — 1800, — 730, les autres où l'anomalie est au contraire fortement positive, + 2250, + 2060, + 2750. Cette disposition peut s'expliquer comme l'exemple signalé plus haut, mais sur une plus large étendue, par l'isolement d'un bloc de basalte qui se présente comme un aimant dont l'axe serait légèrement incliné vers le sud puisque les valeurs négatives sont en valeurs absolues plus faibles, autant que les mesures peuvent le montrer, que les valeurs positives. Cet aimant fictif présenterait son pôle Sud dont l'action s'ajoute à la composante verticale du champ terrestre, du côté du Sud magnétique actuel, en conformité avec l'aimantation des différents filons. Cette fois l'hypothèse issue de la prospection magnétique se trouve étayée par l'observation du géologue. En effet Lebrun a signalé la décomposition en boules du basalte d'Essey et plus particulièrement à la Biscatte : « dans la sonde n^o 1, j'ai trouvé deux boules de 1 m. 40 et de 0 m. 80 de diamètre... ; le basalte se présente en masses sphéroïdales plus ou moins volumineuses entourées de couches concentriques, effet dû à une grande altération..... » Au contraire, « dans les grands filons de la Molotte, il n'y a pas de basalte en boule, le basalte est seulement mamelonné à la surface..... »

Conclusions. — I. *Les filons de la côte d'Essey augmentent la composante verticale du champ magnétique ; ils présentent une aimantation conforme à la direction actuelle du champ.*

II. Au nord de chaque filon s'étend une zone d'anomalies négatives plus ou moins importante. Cette zone négative correspond à des régions où le basalte n'est pas visible et s'explique par un effet d'induction.

III. En concordance avec les observations géologiques, les mesures magnétiques mettent en évidence en deux localités l'existence de blocs isolés qui se comportent comme des aimants sensiblement horizontaux dont l'axe magnétique serait orienté dans le méridien magnétique actuel ; le pôle Sud de l'aimant fictif est dirigé vers le Sud à la Biscatte ; il est au contraire dirigé vers le Nord au signal du Château.

IV. En dehors des filons importants plusieurs maximums secondaires indiquent la présence de filons plus petits et isolés. L'un de ces filons a été vérifié par les observations géologiques.

V. Le plongement des courbes basaltiques vers le Sud ou le Sud-Ouest est très net et se traduit par la dissymétrie des profils magnétiques Nord-Sud.

VI. La surface des anomalies supérieures à 1000 gammas s'établit ainsi :

La Molotte : 700 m².

Signal de la Croix : 1500 m².

Signal du Château : 150 m².

Le pointement de la Croix est donc de beaucoup le plus étendu et le plus large ; le pointement du signal du Château est limité à la petite butte qui forme le point culminant de la côte d'Essey.

Comparaison des résultats d'Essey avec les courbes théoriques. — Un profil magnétique S-N (fig. 17)

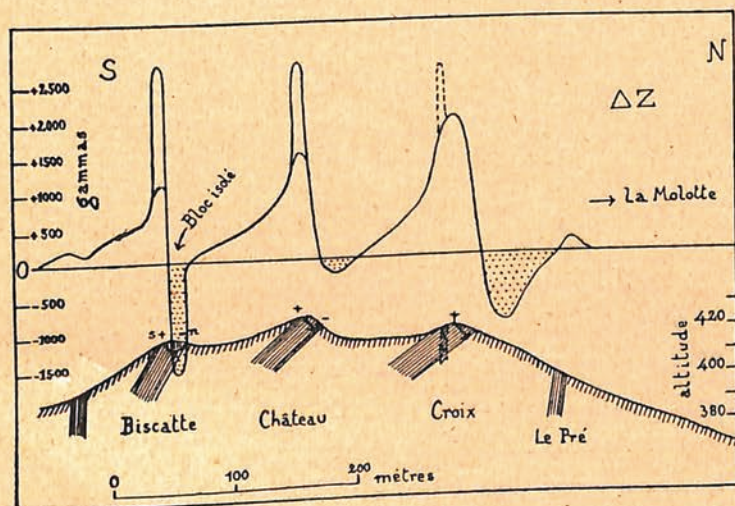


FIG. 17.

Profil magnétique du Sud au Nord de la côte d'Essey.

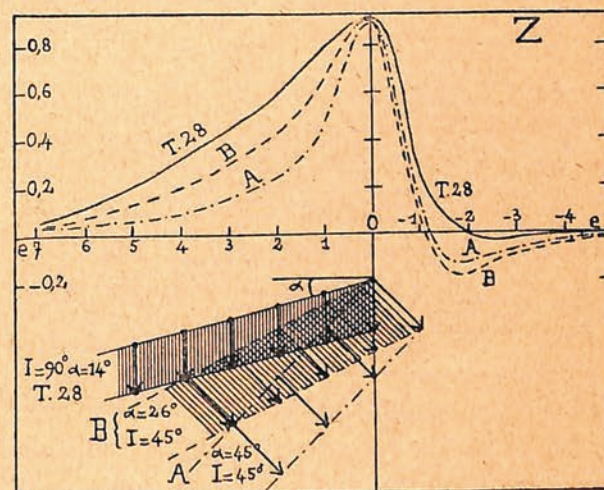


FIG. 18.

Courbes théoriques pour servir à l'interprétation des courbes expérimentales.

groupe les principaux résultats que je viens d'énoncer ; j'ai cherché à reconnaître si la méthode de Nippoldt permettrait de les expliquer :

Il faut d'abord remarquer que les « pointes » du profil magnétique sont dues évidemment à ce que le basalte vient affleurer sous l'appareil : sur le filon du Pré, invisible, masqué par la couche d'altération superficielle et les éboulis de la pente, le maximum est beaucoup moins prononcé. On doit donc faire abstraction, dans l'interprétation, des maximums absolus et prendre comme plus grande valeur de Z au-dessus des filons une valeur intermédiaire, interpolée, 1500 γ environ.

La méthode de calcul doit permettre de retrouver d'une part la pente faible des courbes vers le Sud, d'autre part les minimums au nord des filons. Le premier point s'explique évidemment par une

faible inclinaison des filons : la courbe type 28 de l'ouvrage de Nippoldt permet de s'en rendre compte facilement : elle a été calculée en supposant un filon plongeant d'un angle $z = 14^\circ$ (tel que $\text{tg } z = 1/4$) et représenté par 6 pôles positifs à la partie supérieure et 6 pôles négatifs à la partie inférieure (fig. 18, traits pleins). Si on constate dans ce cas une anomalie négative en avant du filon, elle est cependant très faible, seulement la trentième partie environ de l'anomalie positive. Or Nippoldt a toujours supposé dans ses calculs que les aimants fictifs qui constituent les filons sont *verticaux*. Abandonnant cette restriction, j'ai admis pour expliquer les minimums que les aimants qui schématisent l'aimantation du filon sont, non plus verticaux, mais inclinés vers le nord en présentant naturellement un pôle Sud vers le haut et un pôle Nord vers le bas, c'est-à-dire une aimantation conforme à celle du champ actuel. J'ai choisi comme inclinaison de l'aimantation, 45 degrés et comme pente z du filon, d'une part 45 degrés (type A) ; d'autre part la pente correspondant à $\text{tg } z = \frac{1}{2}$, c'est-à-dire 26 degrés environ (type B) ; j'ai assemblé 4 aimants pour le type A, 5 pour le type B ; le fait d'ajouter d'autres aimants à des profondeurs plus grandes change très peu les résultats du calcul.

Le tableau suivant groupe les principales valeurs calculées en fonction de la distance à l'origine e .

e	- 5	- 4	- 3	- 2	- 1	0	1	2	3	4	5
Type 28	-13	-19	-25	-15	+170	924	775	580	437	340	217
Type A	-26	-46	-81	-124	+ 84	896	462	233	134	76	43
Type B	-28	-65	-94	-155	+ 36	889	649	455	301	183	120

Le rapport du maximum au minimum est de $\frac{907}{139} = 6,5$ pour le type A, de $\frac{916}{177} = 5,2$ pour le type B, tandis qu'il est de 37 pour le type 28.

La figure 18 permet la comparaison de ces différentes courbes avec celle trouvée expérimentalement : la courbe du filon du Château se rapproche beaucoup d'une courbe intermédiaire entre les types A et B, c'est-à-dire *correspond à une couche inclinée d'environ 40 degrés* ; la courbe du filon de la Croix est très comparable à la courbe B (anomalie positive plus large que dans le type A), c'est-à-dire à celle d'un filon incliné à 30 degrés environ ; la partie négative est plus importante parce que, à l'effet d'induction s'ajoute sans doute un effet de relief dû à la masse de basalte qui occupe le sommet de la Croix. On pourrait expliquer ce minimum plus important en admettant une direction d'aimantation différente au filon de la Croix de ce qu'elle est au filon du Château : plus cette direction d'aimantation tend vers l'horizontale, plus l'anomalie négative est grande ; dans ce cas cependant le minimum, au lieu de se trouver en avant du filon, s'en rapproche jusqu'à se placer à la verticale du bord aimanté négativement ; ce cas n'est pas réalisé dans la prospection d'Essey où c'est sensiblement la courbe O qui limite le bord nord du filon.

Cette explication me paraît valable pour les résultats de prospections de necks australiens publiés par E. Booth ⁽¹⁾ : Les cartes qui figurent dans ce travail, par exemple celle de l'anomalie du Tunnel Bowral, montrent également des zones négatives peu importantes sur le versant Est des maximums positifs. Les zones négatives seraient dues d'après l'auteur à la diversité des roches et à l'érosion inégale des trachytes contenant la magnétite. Ces anomalies négatives ont, je crois, une cause plus générale.

⁽¹⁾ E. H. BOOTH. — *Loc. cit.*, J. and Proc. of the Royal Society of New South Wales, vol. LXIX, fig. 3 et 4 et p. 57-58, Sydney, 1935.

B) *Autres basaltes lorrains au Sud de la Côte d'Essey.* — Plusieurs auteurs ont signalé l'existence de pointements basaltiques au Sud de la Côte d'Essey.

De Billy, dans sa géologie du département des Vosges (1848), cite : « les champs de Hadigny (Vosges) près de Bedon » et représente sur la coupe WE des Vosges une cheminée basaltique affleurant au fond du vallon parcouru par le ruisseau de Bedon à 700 mètres au SE de cette ferme ⁽¹⁾.

Vélain, de son côté, écrit : « Les affleurements de roches basaltiques ne sont pas limités à la côte d'Essey. On en connaît, plus au Sud à 10 kilomètres de distance, 3 filons de même nature qui se présentent les uns près de Rehaincourt au travers des marnes keupériennes, le 3^e près de la ferme Bedon à l'Est de Châtel-sur-Moselle en plein Muschelkalk, lignés sur une même ligne de fracture NS qui vient aboutir à la côte d'Essey » ; des pointements sont portés sur la carte géologique au 1 : 80000^e (n^o 84, feuille Epinal), édition 1892, contours d'après les travaux de Vélain.

Au cours du travail de révision de la carte géologique, *aucun de ces pointements n'a été retrouvé.* J'ai exécuté plusieurs profils magnétiques ⁽²⁾ aux alentours de la ferme Bedon et dans la région de Zincourt ; tous ces profils ont fourni un résultat négatif.

Voici par exemple les lectures corrigées en 7 stations d'un profil allant de la ferme Bedon à la mare qui se trouve au Sud : ce profil devrait recouper l'affleurement de basalte tel qu'il est figuré sur la carte géologique. Les stations sont à 10 mètres l'une de l'autre, intervalle jugé suffisant d'après les résultats de mes prospections antérieures.

Lectures moyennes corrigées (en divisions d'échelle) :

21,97 21,77 21,97 22,15 22,08 22,07 21,75 Moyenne : 21,97

L'écart maximum à la moyenne est donc seulement de 2 dixièmes de division c'est-à-dire ± 5 gammas, valeur inférieure à l'erreur expérimentale. De telles lectures représentent une prospection *en terrain tout à fait homogène* et aucun indice ne permet d'affirmer que les basaltes décrits existent dans les zones que nous avons prospectées. Il est probable qu'il s'agissait en fait de blocs roulés trouvés isolément en ces différents points.

III. — TYPES DE GISEMENTS DES BASALTES D'ALSACE

Introduction. — L'activité éruptive, qui s'est manifestée à l'époque tertiaire dans le fossé rhénan en voie d'affaissement, y a laissé des vestiges importants, tel l'appareil volcanique du Kaiserstuhl qui émerge de la plaine rhénane à l'Est de Brisach et qui s'élève aujourd'hui encore à 550 mètres d'altitude. Sur la rive gauche du Rhin les témoins de cette activité sont beaucoup plus réduits et on ne rencontre qu'en quelques points des filons, toujours isolés à l'inverse des filons lorrains d'Essey-la-Côte où j'ai pu en décrire six parallèles entre eux.

On connaît depuis longtemps le basalte noir compact de Reichshoffen, exploité à Gundershoffen (basalte feldspathique) et le basalte de Riquewihhr dont le type est très voisin de la limburgite du Kaiserstuhl. Plus récemment (1888) on a découvert un pointement basaltique au milieu du massif

⁽¹⁾ Voir aussi : DE BILLY. — *Esquisse de la géologie du département des Vosges*, Annales de la Société d'émulation des Vosges tome VII, 2^e cahier, 1850, Epinal, 1851, p. 14.

⁽²⁾ L'idée m'a été suggérée par le professeur G. CORROY.

granitique des Vosges à Orbey, puis un autre (1909) près de Ribeauvillé. Enfin on a signalé (1912) une brèche basaltique et des tufs volcaniques à l'ouest de Vöklingshoffen (Haut-Rhin) (1).

Ces différents gisements offrent à l'étude magnétique des exemples simples, typiques. Les résultats de mes recherches sont résumés ci-dessous.

A. — Basalte de Gundershoffen

Ce pointement se trouve à 245 mètres d'altitude au bord de la route de Scheuerlenhof à Reichshoffen à 2000 mètres au Sud-Est de cette localité et sur le territoire de la commune de Gundershoffen. Le filon traverse des marnes qui appartiennent à la série des schistes feuilletés du Lias moyen (Marnes à *Amaltheus margaritatus*) : ces schistes font partie d'un complexe jurassique abaissé suivant deux failles entre le Keuper et le Lias inférieur. Le basalte a été exploité en carrière pour l'empierrement des routes ; la carrière est aujourd'hui abandonnée et son centre est rempli d'eau.

La composition de la roche a été déterminée par LINK ; c'est un basalte à feldspath (plagioclases) avec olivine et augite. La composition centésimale est la suivante :

SiO ²	52,6	Fe ² O ³ + FeO	11,4	K ² O	1,1
TiO ²	0,6	CaO	9,1	Na ² O	2,9
Al ² O ³	14,2	MgO	6,4	H ² O	2,1

Susceptibilité magnétique des échantillons récoltés :

1° Basalte : plusieurs mesures sur des échantillons différents ont fourni les résultats suivants :

$$K = 425 ; \quad 450 ; \quad 400 ; \quad 450. \quad D = 2,51$$

$$\text{Moyenne : } k = 1100$$

2° Marnes feuilletées (schistes-cartons d'Uhrweiller) :

$$K = 6,0 \quad D = 1,74$$

$$k = 10,2$$

Mesures magnétiques. — L'intervalle des stations varie en général de 10 à 20 mètres, moindre au centre de l'anomalie. On a pris comme valeur normale (zéro) la valeur de la composante verticale du champ au point où le chemin de terre qui passe au nord de la carrière rejoint la route de Reichshoffen (borne de grès) ; l'appareil utilisé est le variomètre Askania n° 98586 (constante d'échelle = 30 γ /division).

Les différentes valeurs obtenues sont portées avec leur signe sur la carte (fig. 19), réduction d'un levé à la planchette au 1 : 500^e.

(1) *Bibliographie géologique :*

G. LINK. — *Die Basalte des Elsass*, Mitteilungen der Commission für die Geologische Landesuntersuchung von Elsass-Lothringen, Band I, Strasbourg, 1888, p. 49-68.

H. BÜCKING. — *Ein neues Basaltvorkommen aus dem Elsass*, dito, Band I, Strasbourg, 1888, p. 121-122.

FR. KALLHARDT. — *Ueber ein neues Basaltvorkommen in den Vogesen*, Mitt. der Geolog. Landesanstalt von Els. Lothr., VI, 1909, p. 399-400.

H. KLÄHN. — *Geologie der Umgebung von Colmar*, Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Colmar, tome XIII, 1915, p. 113-115 et photo, p. 289.

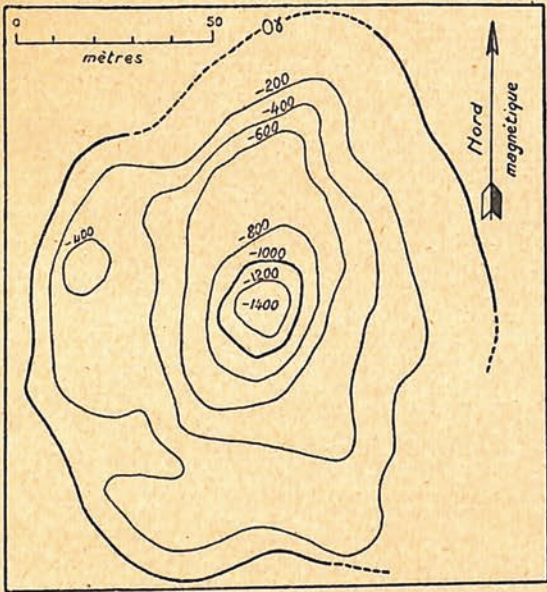


FIG. 19.

Courbes isonomales de la composante verticale en gammas.
Prospection du Darnsteinweg (E. SCHULZE).

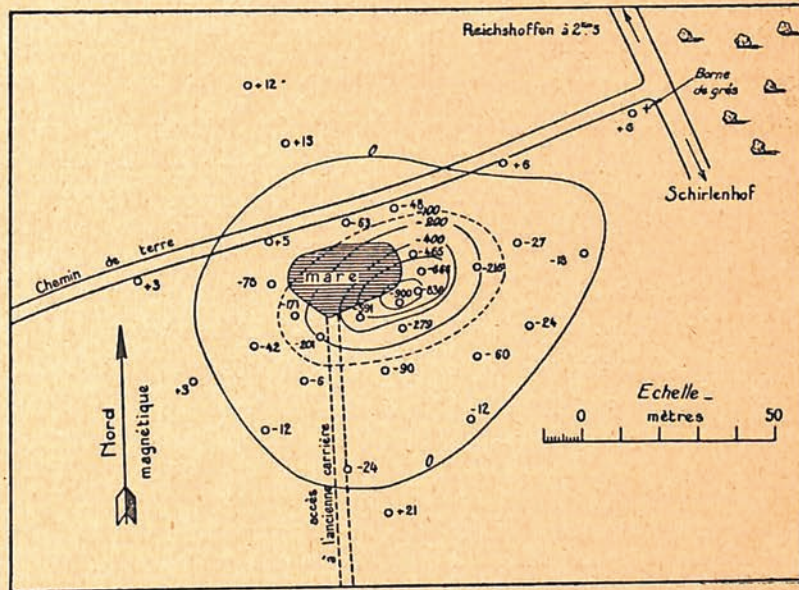


FIG. 20.

Courbes isonomales de la composante verticale en gammas.
Prospection de Gundershoffen (J. ROHNÉ).

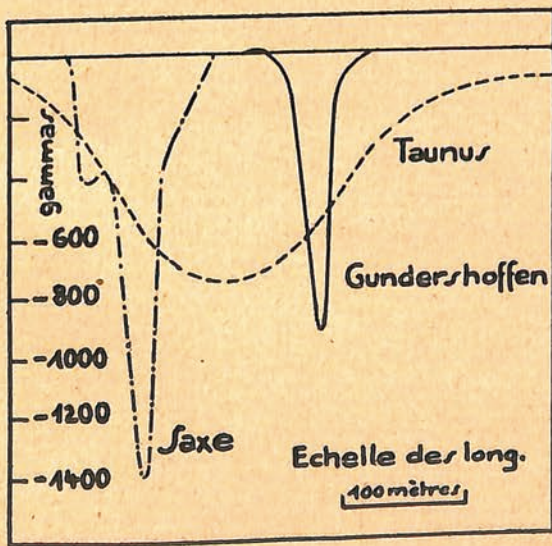


FIG. 21.

Anomalies magnétiques négatives dues à l'aimantation rémanente des filons de basalte (profils transversaux).

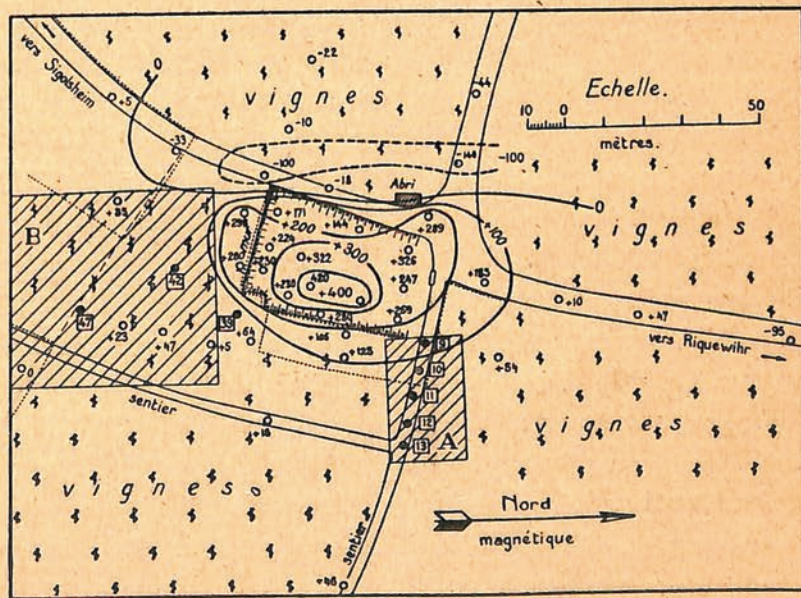


FIG. 22.

Prospection de Riquewihr (J. ROHNÉ).
Anomalies en gammas de la composante verticale (les chiffres encadrés sont les numéros des stations perturbées accidentellement dans les zones hachurées A et B, étudiées en détail figures 7 à 10).

PROSPECTIONS MAGNÉTIQUES DE POINTEMENTS BASALTIQUES

Interprétation des résultats. — La carte d'isanomales (fig. 20) montre que le filon de Gundershoffen produit une perturbation magnétique simple, presque théorique. Les courbes sont concentriques, voisines d'ellipses ou de cercles. Mais le fait important est que le basalte provoque ici une anomalie *tout entière de même sens et négative*. Nous avons vu qu'à Essey les anomalies positives l'emportaient sur les anomalies négatives. Ici au contraire on ne note plus, à part quelques valeurs très faiblement positives, que des valeurs négatives. L'action du basalte amène donc *une diminution du champ magnétique actuel*, comme si le filon se comportait comme un aimant indéfini dans le sens vertical et présentant un *pôle nord vers sa partie supérieure*.

L'anomalie se répartit tout entière dans une ellipse dont les axes auraient 70 mètres et 90 mètres de longueur. Dans l'ensemble, la régularité des courbes montre que la cheminée basaltique est presque verticale ; mais néanmoins on peut remarquer une légère dissymétrie des courbes, plus resserrées vers le Sud-Est, dissymétrie qui semble indiquer que le filon plonge très légèrement vers le Nord-Ouest.

Ce résultat, obtenu en 1931, qu'un filon de basalte dont la susceptibilité magnétique est très forte provoque une diminution du champ, m'a d'abord surpris comme il a étonné d'autres auteurs, et il ne peut s'expliquer qu'en admettant une aimantation propre de la roche, aimantation en sens inverse de celle que prendrait la même substance dans le champ actuel.

Analogies de la prospection de Gundershoffen avec d'autres levés magnétiques.

1° *Cheminée basaltique du Darnsteinweg (Saxe).* — E. Schulze (1) a étudié en 111 stations une cheminée basaltique située dans la région de Hinterhersmdorf (Saxe) au voisinage de la frontière tchèque. La carte qu'il a publiée est reproduite figure 19. Schulze a admis que la ligne — 800 gammas jalonnait le pourtour de la cheminée qui a ainsi une forme elliptique, dont les axes ont respectivement 40 et 30 mètres de longueur. On remarquera la grande analogie de cette carte avec le levé magnétique de Gundershoffen. Dans les deux cas il s'agit de basaltes tertiaires qui montrent une aimantation propre dirigée en sens inverse du champ actuel.

2° *Perturbation attribuée à une cheminée basaltique dans le Taunus au nord de Francfort-am-Main.* — Tout récemment, H. Reich (2) a cité un exemple d'une anomalie magnétique importante, négative, qui se présente de manière tout à fait analogue aux anomalies que je viens d'étudier. Située dans le massif du Taunus, au Petit Feldberg, elle est néanmoins un peu plus étendue, 300 mètres de longueur sur 200 mètres de largeur. La valeur de la perturbation atteint au centre — 700 gammas. Aucun pointement n'est visible à cet endroit, le sol est recouvert d'un manteau argileux provenant de la décomposition de quartzites, mais plusieurs cheminées basaltiques sont connues dans la région ; aussi l'auteur après avoir éliminé l'hypothèse de l'influence du massif hercynien — l'allure des isanomales à peu près régulièrement concentrique ne montre aucune direction varisque — rapproche le résultat trouvé de ceux de Schulze cités précédemment et conclut à l'existence probable d'un filon basaltique venant très près de la surface sous la couverture argileuse et présentant une aimantation propre acquise dans un champ ayant une direction exactement opposée à celle du champ actuel.

Les isanomales sont dissymétriques, plus serrées vers le Nord, ce qui paraît indiquer un plonge-

(1) E. SCHULZE. — *Magnetische Vermessung einiger tertiärer Eruptivgänge und stöcke im sächsischen Elbsandsteingebirge*, Z. f. G., VI, 1930, p. 155.

(2) H. REICH. — *Ergebnisse erdmagnetischer Untersuchungen im rheinischen Schiefergebiete*, Z. f. G., XI, 1935, p. 355.

ment du filon vers le Sud. L'auteur ne paraît pas — tout au moins dans le résumé publié — avoir attiré l'attention sur ce point.

On remarquera aussi que la valeur maxima de l'anomalie (— 700 gammas) est plus faible que celle de Gundershoffen bien que beaucoup plus étendue en surface. En admettant que toutes ces roches aient une susceptibilité analogue à celle que j'ai mesurée, la forme plus aplatie que présente au Taunus un profil transversal tient au fait que le filon n'affleure pas à la surface. Les formes des profils transversaux de Gundershoffen et de Saxe (Schulze) sont au contraire très analogues (fig. 21).

B. — Basalte de Riquewihr

Description du gisement. — Ce pointement de basalte affleure vers 340 mètres d'altitude au milieu des vignobles dans une petite carrière, à 500 mètres au SSW de la sortie Sud du village de Riquewihr (Haut-Rhin). La carrière est aujourd'hui abandonnée et occupée par un verger clôturé. Néanmoins le front reste visible et forme un mur vertical dont la hauteur varie de 3 à 5 mètres de hauteur et où la décomposition en boules du basalte est bien visible. Link, qui a étudié l'affleurement à une époque où il était plus frais, a constaté qu'en bordure de la carrière, dans la partie Nord, le basalte est désagrégé et passe à une sorte de tuff analogue aux tuffs décrits par Rosenbusch dans le massif du Kaiserstuhl.

Au point de vue minéralogique, si l'olivine et l'augite en sont les constituants dominants, la néphéline est un des éléments caractéristiques de ce basalte. L'augite titanifère est très semblable à celle du basalte, type limburgite, de Limbourg, dans le Kaiserstuhl, massif qui est d'ailleurs seulement éloigné de 30 kilomètres de l'affleurement de Riquewihr. La roche comprend aussi un très grand nombre de petits grains de magnétite.

Les terrains encaissants appartiennent au Trias et au Jurassique inférieur : à l'ouest de la carrière, le muschelkalk forme la couche supérieure d'un compartiment qui butte par faille contre le gneiss du massif hercynien ; au nord et à l'ouest, les couches superficielles appartiennent au lias inférieur (Sinémurien à *Gryphaea arcuata*).

Susceptibilité magnétique des échantillons récoltés :

1° Basalte :

$$K = 2060 ; \quad 1550 ; \quad 3000 ; \quad 2260 ; \quad \text{Moyenne} : 2200 \times 10^{-6}$$

Densité $D = 2,85$; $k = 4500$ à 8500×10^{-6} .

2° Calcaire liasique pur :

$$D = 2,40 ; \quad k = 14,4 \text{ à } 16,8 \times 10^{-6}$$

Calcaire liasique altéré par le basalte :

$$D = 2,40 ; \quad k = 80 \times 10^{-6}$$

Mesures magnétiques. — Les mesures magnétiques sont rendues difficiles par plusieurs causes de perturbations : clôtures, fils de fer soutenant les vignes qui forment de vastes réseaux, conduites de fer. Il est malaisé de déterminer exactement l'influence de ces diverses causes et les valeurs trouvées ne peuvent être considérées que comme des valeurs moyennes.

Le tableau XIV donne les valeurs relatives par rapport à un zéro arbitraire de la composante verticale, corrigées de la température et de la variation diurne, dans les 48 stations du réseau. J'ai in-

diqué dans ce tableau les stations où les perturbations accidentelles deviennent importantes. Pour certaines d'entre elles, en effet, j'ai trouvé des chiffres inférieurs de 500 gammas à la normale et c'est ce qui m'a amené à faire l'étude systématique de l'influence de ces causes accidentelles qu'on a lue au chapitre I, p. 24.

TABLEAU XIV

Stations	Z	Stations	Z	Stations	Z	Stations	Z	Stations	Z
1	655 γ	11	292* γ	21	1161 γ	31	974 γ	41	717 γ
2	797	12	383*	22	858	32	980	42	236*
3	760	13	474*	23	875	33	1085	43	797
4	935	14	796	24	732	34	814	44	773
5	804	15	976	25	1072	35	768	45	755
6	706	16	997	26	1170	36	650	46	785
7	610	17	1014	27	1029	37	1048	47	610*
8	1030	18	778	28	728	38	1030	48	753
9	351*	19	782	29	740	39	621*		
10	343*	20	894	30	921	40	755		

* Stations perturbées accidentellement.

La carte (fig. 22) est une réduction d'un levé à la boussole ; elle porte les valeurs des anomalies en chaque station, valeurs calculées d'après le tableau précédent en prenant pour valeur normale (zéro) en région non perturbée la valeur relative 750 γ , obtenue aux stations 45 et 48 par exemple. Les courbes isanomales sont tracées de 100 en 100 γ .

L'influence du sous-sol basaltique se manifeste par une *augmentation de la composante verticale*, avec un maximum d'environ + 400 γ , au centre de la carrière. Les courbes sont moins serrées vers le Nord-Est, ce qui semble indiquer un plongement du basalte dans cette direction, le mur rocheux actuellement visible au Sud, formant la limite de l'affleurement. D'autre part bien que les valeurs négatives soient, en raison des perturbations accidentelles, sujettes à caution, le groupe des stations 6, 7, 24, 28, 29, 36 et 41 constitue une zone de valeurs nettement inférieures à la normale et située à l'ouest de la carrière. Il s'agit ici encore sans doute du minimum dû à l'effet d'induction.

Les deux stations 37 et 38, situées sur le mur de basalte, ont une valeur supérieure d'environ 50 gammas à celles des stations 31 et 32 situées à 3 mètres au nord du pied du mur de basalte compact et plus rapprochées du maximum de l'anomalie. Ces écarts tiennent probablement à un effet de relief, les stations 31 et 32 se trouvent en dessous de masses aimantées voisines. Cette influence du relief qui a été étudiée systématiquement dans plusieurs exemples par Königsberger ⁽¹⁾, est ici relativement faible et ne saurait masquer le phénomène essentiel.

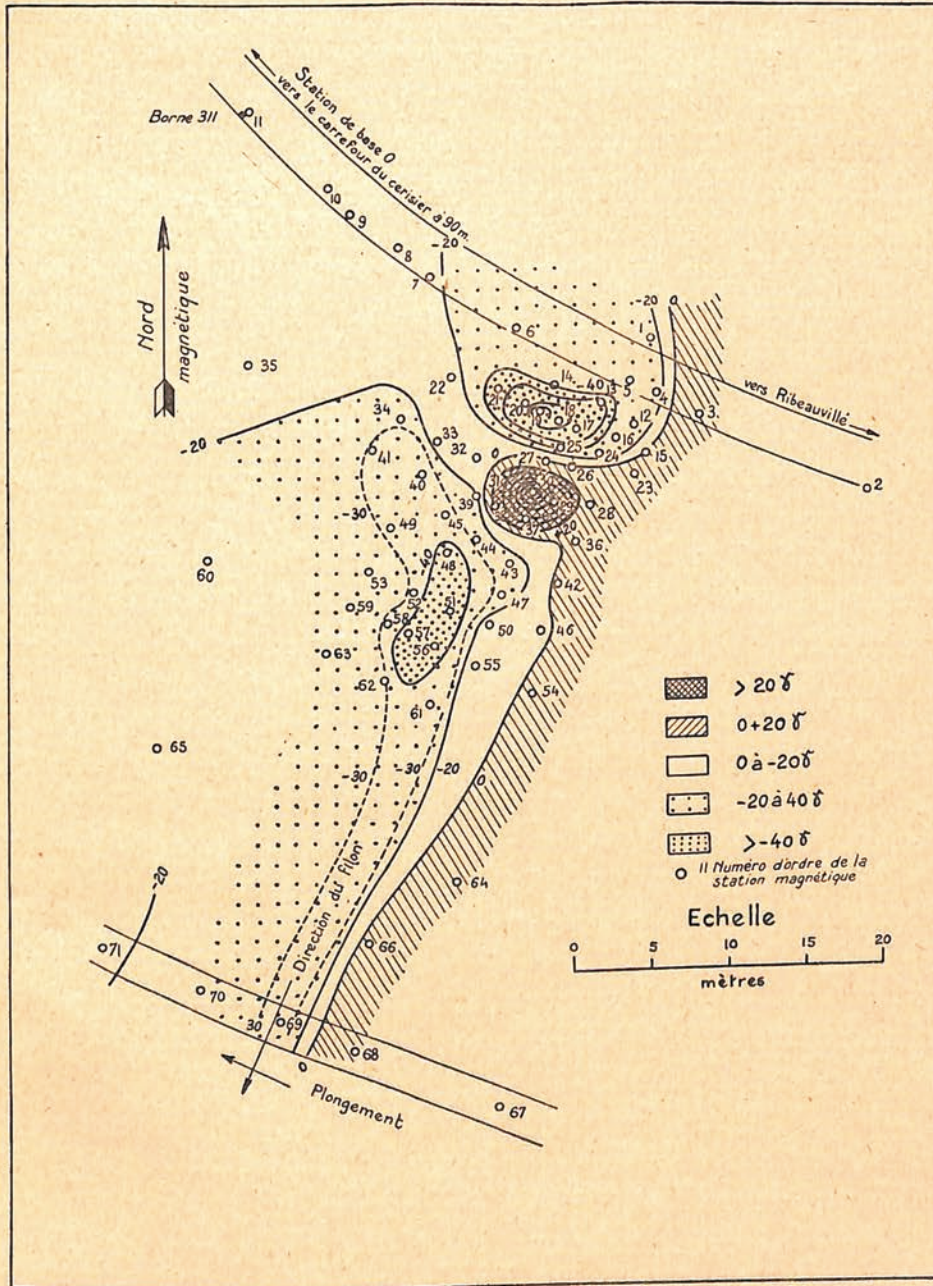
Je comparerai plus loin les résultats trouvés à Riquewihl avec ceux observés sur les autres pointements basaltiques.

C. — Basalte du Cerisier Noir

Description du gisement. — Contrairement aux pointements précédemment étudiés, le basalte du « Cerisier Noir » apparaît au milieu d'un massif granitique. Il a été découvert par Kallhardt en

⁽¹⁾ J. KÖNIGSBERGER. — *Über den Einfluss von Geländeunebenheiten auf das erdmag. Verticalfeld*, G. B., Band XX, 1928, p. 293-307.

1909 au NNW de Ribeauvillé (Haut-Rhin) à 640 mètres d'altitude, le long du chemin forestier du Schlüsselstein au Taennchel, à 100 mètres au SE du lieu dit le Cerisier Noir (Schwarzes Kirchbaum, point trigonométrique 646 mètres, feuille Sainte-Marie-aux-Mines de la carte d'Alsace au 1 : 25.000^e).



Station	Anomalie	Station	Anomalie
1	- 27 γ	37	+ 80 γ
2	+ 3	38	+ 20
3	+ 8	39	- 30
4	+ 0	40	- 30
5	- 33	41	- 32
6	- 29	42	+ 8
7	- 20	43	- 25
8	- 18	44	- 25
9	- 28	45	- 20
10	- 15	46	- 20
11	- 17	47	- 7
12	- 23	48	- 40
13	- 67	49	- 32
14	- 35	50	- 5
15	+ 5	51	- 45
16	- 25	52	- 25
17	- 80	53	- 27
18	- 75	54	+ 2
19	- 110	55	- 2
20	- 83	56	- 42
21	- 55	57	- 42
22	- 15	58	- 32
23	- 7	59	- 25
24	- 1	60	- 20
25	- 62	61	- 35
26	+ 8	62	- 25
27	+ 14	63	- 27
28	+ 3	64	- 8
29	+ 75	65	- 10
30	+ 150	66	+ 25
31	+ 38	67	0
32	- 10	68	+ 37
33	- 8	69	- 27
34	- 30	70	- 22
35	- 15	71	- 12
36	0		

TABLEAU XV
Variomètre Askania 98586 ;
ε = 25 γ/division ;
mesures faites en juin 1934 et mai 1935.

FIG. 23.
Prospection magnétique du Cerisier Noir.
Les chiffres correspondent aux numéros des stations du tableau XV.

KALLHARDT avait trouvé quelques blocs isolés de basalte qui appartient ici encore au type limburgite. La roche en place n'était pas connue. Je me suis proposé de délimiter par l'étude magnétique le contour du filon d'où provenaient les blocs isolés.

Mesures magnétiques. — J'ai pris comme base la station située au carrefour du Cerisier noir ; des lectures y ont été faites au début et à la fin de chaque journée de mesures. J'ai fait un levé à la planchette des stations dont certaines ont été serrées à 1 ou 2 mètres de distance. Deux appareils ont été successivement employés ; l'un rendu très sensible aux variations de température par suite d'une modification de sa valeur d'échelle abaissée à 12 gammas par division, l'autre était compensé aux variations de température.

Certaines stations ont été répétées plusieurs fois ; les écarts observés en une même station sont généralement faibles, inférieurs à 10 gammas ; l'écart atteint 15 gammas pour les stations de forte anomalie : ce chiffre est une limite supérieure de l'erreur à attendre sur chaque station.

Le terrain prospecté, bois de jeunes sapins dans un massif forestier éloigné de toute route, lignes électriques, maisons, etc..., est très favorable à l'exécution des mesures magnétiques.

Le tableau XV indique pour chaque station la valeur de l'anomalie de la composante verticale, calculée par rapport à la station de base du Cerisier Noir.

Interprétation des résultats. — L'examen de la carte figure 23 et du tableau précédent montre que les stations se répartissent en trois groupes qui caractérisent :

1^o une anomalie positive, avec un maximum de 150 gammas.

2^o une anomalie négative, avec un minimum de — 110 gammas.

3^o une anomalie négative plus faible, allongée, principalement aux stations 48, 51, 56, 57, 61, 69.

Les pôles des anomalies négative et positive sont très rapprochés l'un de l'autre : 6 mètres. En ces deux points *le basalte en place n'est pas visible*, mais j'ai exécuté, avec un matériel de forage portatif de l'Institut de Physique du Globe de Strasbourg, deux petits sondages : à la station 19 le *basalte compact* a été rencontré à 1 m. 60 de profondeur ; à la station 30 à 0 m. 80 de profondeur seulement. Le basalte est donc plus près de la surface à la station 30, ce qui explique que la valeur maxima de l'anomalie positive soit supérieure à la valeur absolue de l'anomalie négative.

Nous retrouvons ici *un bloc qui se comporte comme un aimant à peu près horizontal*. L'axe magnétique du bloc est orienté sensiblement dans le méridien magnétique actuel. C'est là encore une analogie avec les faits observés à Essey (p. 43).

L'anomalie négative plus faible, au sud du bloc isolé, peut s'expliquer par la présence en profondeur d'un filon de basalte dont se serait détaché le bloc. S'il en est ainsi, comme à Gundershoffen, les faibles variations observées permettent seulement d'envisager cette hypothèse. La surface du sol étant fortement inclinée du Nord vers le Sud, il est difficile de déterminer le plongement du filon. La dissymétrie de profils magnétiques perpendiculaires à la direction supposée du filon semble indiquer que le filon présenterait un bord abrupt vers l'est et au contraire plongerait plus doucement à l'ouest. Un sondage à la station 54, à l'est du bord supposé du filon, a rencontré du *granit compact* à 0 m. 80 de profondeur.

D) *Basalte d'Orbey*

Ce pointement basaltique a été découvert par Bücking lors de la construction de la route d'Orbey à Labaroche.

J'ai retrouvé un bloc de basalte dont il est difficile de dire s'il est « en place » à l'endroit indiqué : dans le fossé de la route, à gauche en allant vers Labaroche, à 120 mètres au Sud de la jonction du chemin de Champ-Simon avec cette route.

La susceptibilité magnétique des échantillons recueillis est très élevée, comprise entre 9500 et 10000×10^{-6} ($D = 2,92$). Comme celle du granit encaissant est environ 130 fois plus faible ($k = 71$ à 75×10^{-6} ; $D = 2,60$), la méthode magnétique doit pouvoir déceler un filon de quelque importance. Or les nombreuses mesures effectuées aux environs du bloc basaltique — l'intervalle des stations a été réduit à 2 mètres — n'ont montré aucune variation dépassant 20 gammas. En particulier à la verticale du bloc de basalte, la composante verticale du champ magnétique présente seulement un maximum de 15 gammas par rapport aux stations voisines. On peut donc dire qu'à Orbey le basalte n'apparaît pas sous forme d'une cheminée importante comme à Reichshoffen et à Riquewihr ou même d'un bloc isolé séparé de son filon comme au Cerisier Noir, mais seulement comme une injection au travers du granit, injection de quelques centimètres d'épaisseur seulement. En fait les deux premiers affleurements apparaissent au milieu des terrains sédimentaires secondaires où la lave a trouvé évidemment un chemin plus facile.

Preuve de l'existence d'éruptions volcaniques dans la plaine rhénane au Chattien (Oligocène supérieur)

Pour terminer ce chapitre sur les éruptions volcaniques de la plaine rhénane, je dirai quelques mots des conclusions que l'on peut tirer de l'examen magnétique des couches du fossé rhénan.

E. Rothé et Mme A. Hée ⁽¹⁾ ont mesuré la susceptibilité de certaines couches du remplissage tertiaire de la vallée du Rhin. Parmi ces mesures une des couches se signalait par une susceptibilité magnétique plus forte : il s'agissait d'un grès calcaire attribué à l'oligocène supérieur (Stampien) rencontré à 119 mètres de profondeur dans un sondage de la région de Neuf-Brisach. La susceptibilité est de 193×10^{-6} ⁽²⁾. Les couches voisines du Stampien donnaient des chiffres beaucoup plus faibles, allant de 10 à 30×10^{-6} .

Depuis j'ai pu, grâce à l'amabilité du service géologique des mines domaniales de potasse, étudier d'autres échantillons du même étage géologique et j'ai en effet retrouvé *une couche sédimentaire dont la susceptibilité magnétique est très élevée*. Ces échantillons proviennent du sondage de Geiswasser au Sud-Est de Neuf-Brisach, à proximité même du Rhin.

Les résultats des mesures de susceptibilité sont les suivantes :

		$k \times 10^{-6}$	Moyenne	D	
Chattien	Calcaire	244m	71 76	73,5	2,30
	Grès calcaire, couche	236 m-350 m	465 480 540 600	520	2,36
	Grès calcaire	262 m	1080 1090	1085	2,30
	Grès jaune à ciment calcaire	350 m	7,5 8,5	8	2,27
	Marne argileuse	260 m-350 m		17,2	2,32
	Marnes calcaires	446 m		11,3	2,3

La susceptibilité extraordinairement élevée pour une roche sédimentaire, supérieure même à celle de beaucoup de roches éruptives, de la couche de grès sableuse rencontrée à 262 mètres de profondeur, s'explique évidemment par une concentration anormale de magnétite : les grains de magnétite sont visibles à l'œil nu et sont facilement séparés à l'aimant dans le sable provenant de la pulvérisation de la roche. Une telle concentration de magnétite se rencontre dans les alluvions récentes

⁽¹⁾ E. ROTHÉ et A. HÉE. — *Sur les propriétés magnétiques des zones stratigraphiques de la vallée du Rhin*, C. R. A. S., 1928, t. 187, p. 152.

⁽²⁾ Ce chiffre relativement élevé a été reproduit d'une manière erronée dans le travail de G. GRENET (*loc. cit.*, p. 54) sous la forme $19,20 \times 10^{-6}$, ce qui lui ôtait son caractère exceptionnel.

de certains cours d'eau (Madagascar, Etats-Unis, etc.). Heiland ⁽¹⁾ a pu, par une prospection magnétique rendue possible par cette concentration en magnétite, prospector certains dépôts alluvionnaires (« placers d'or ») au Colorado : la puissance de transport de l'eau est proportionnelle à leur densité ; comme cette puissance de transport croît avec la 6^e puissance de la vitesse du courant, un ralentissement des filets d'eau amène en premier lieu le dépôt des corps les plus lourds et la magnétite se dépose immédiatement en même temps que l'or, le platine, l'ilménite.

Il faut donc voir dans cette couche le témoin du démantèlement d'un massif volcanique Chattien qui constituerait en quelque sorte un « *pre-Kaiserstuhl* ». Etant donnée la concentration très forte observée, la magnétite devait être arrachée presque sur place ; la région où se rencontre cette couche se trouve à 10 kilomètres seulement de Vieux Brisach, limite méridionale actuelle du massif volcanique du Kaiserstuhl. Dans le bassin de Mayence cette phase chattienne des éruptions volcaniques est connue ; en effet « dans la Wetterau, les formations lacustres du Chattien sont remplacées par des lignites qui ont été préservés de la dénudation par une couverture basaltique » (HAUG, *Traité de Géologie*).

IV. — AUTRES TYPES DE GISEMENT DES ROCHES BASALTIQUES

A) *Filon-couche du Cap Stewart* (Scoresby Sund, Groenland).

Au cours de l'expédition française de l'année polaire, j'ai pu effectuer en utilisant un variomètre Askania quelques mesures sur un filon-couche de basalte qui apparaît au milieu des terrains sédimentaires du lias inférieur. Ces mesures rapides avaient surtout pour but de rechercher le sens de la perturbation magnétique causée par le filon.

Les terrains sédimentaires gréseux qui forment la Terre de Jameson sur le bord septentrional du fjord du Scoresby Sund se terminent sur le Hurry Inlet par une « côte » d'érosion où les différentes couches apparaissent par la tranche ⁽²⁾. C'est ainsi qu'on aperçoit et qu'on peut suivre sur plusieurs kilomètres vers le nord un ou deux filons-couches (*sills*) de basalte intercalés dans les grès calcaires et les schistes liasiques à *Pecten Stewartianus*. Dans la partie méridionale de la côte, au voisinage même du Cap Stewart (latitude : 70°26' ; longitude : 22°36', W Gr.) l'un de ces filons forme, à 120 mètres d'altitude, le couronnement du plateau, à la partie supérieure du vallon désigné sous le nom de Raevkloft par le géologue danois Rosenkrantz ⁽³⁾. Le basalte forme un abrupt d'environ 5 mètres. Sa susceptibilité magnétique est élevée : $k = 6000 \text{ à } 7200 \times 10^{-6}$, pour une densité de 3,01.

Mesures magnétiques. — J'ai fait un profil perpendiculaire au flanc du vallon. Les valeurs indiquées sont corrigées de la température et de la variation diurne de l'élément magnétique, d'après les inscriptions effectuées à la station fixe de l'expédition, située à une vingtaine de kilomètres environ. La variation diurne a d'ailleurs été — par un hasard exceptionnel — inférieure à 10 gammas pendant la durée des mesures, valeur très faible pour les régions arctiques.

Le résultat est résumé dans le tableau suivant :

⁽¹⁾ C. HEILAND et W. COURTIER. — *Magnetometric investigation of gold placer Deposit near Golden, Colo*, A. I. M. E., Boston Meeting, août 1928.

⁽²⁾ J. P. ROTHÉ. — *Observations morphologiques au Scoresby Sund*, C. R. A. S., t. 197, p. 1443, 1933.

⁽³⁾ Voir la description géologique détaillée dans : A. ROSENKRANTZ, *The lower jurassic rocks of East-Greenland*, Medd. om Groenland Bd 110, n° 1, p. 18 et 38, 1934 ; description des dykes de basalte, p. 50.

Stations	1	2	3	4	5	6	7
Distances	0	15	37	40	43	58	70 mètres
		Plateau		sur le basalte	au pied du mur de basalte		Vallon
Altitudes*	122	122	120	120	116	113	111 mètres
ΔZ	0	- 10	+ 20	- 165	- 180	- 5	+ 19 gammas

* Les altitudes sont déterminées à partir du niveau de la mer en utilisant un altimètre *Paulin* (Stockolm).

Ce filon de basalte est évidemment en relation avec les coulées qui forment sur la côte Sud du Fjord des entassements de basalte de plus de 2000 mètres d'altitude et, comme elles, d'âge tertiaire.

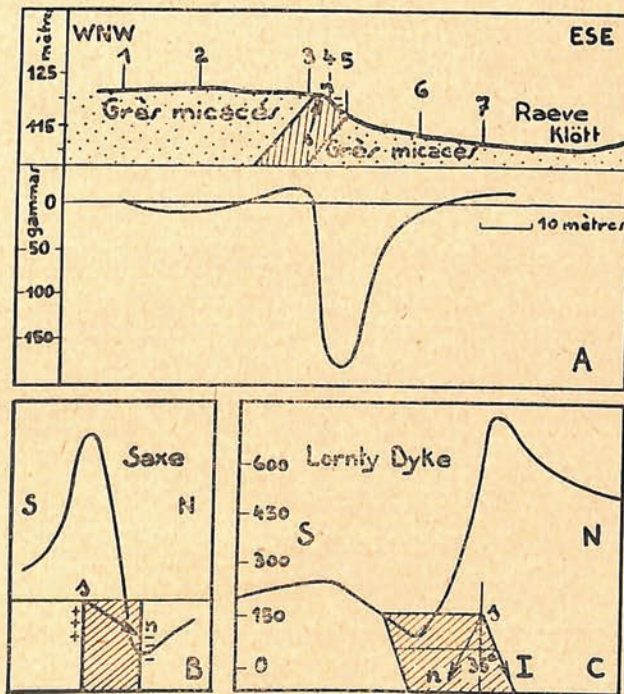


FIG. 24.

Profils magnétiques de dykes et sills de basalte.

A, Jameson Land (J. ROUË) ; B, Dyke de Saxe (SCHULZE) ; C, Lornly Dyke (Mac CLINTOCK).

Nous retiendrons seulement des mesures précédentes que la proximité du basalte compact, visible, produit une diminution de la composante verticale du champ terrestre ; la forme d'un profil transversal est à peu près symétrique. Les coupes géologiques représentent le sill de basalte comme horizontal. S'il en était ainsi le basalte se trouverait aux stations 1 et 2 à 2 mètres seulement de profondeur et on devrait encore observer un effet magnétique important. En réalité le profil magnétique, tel qu'il est représenté (fig. 24 A), indique que le filon doit plonger rapidement vers l'ouest.

Les mesures absolues de déclinaison et de composante horizontale m'ont montré qu'à des anomalies locales en quelque sorte superficielles — telles que celle qui vient d'être décrite — s'ajoute

une anomalie régionale importante ⁽¹⁾. En particulier la déclinaison (réduite au 1^{er} août 1933) est seulement de 31°03 W au Cap Stewart, tandis qu'elle atteint 34°06 à la station de Rosenvinge et 34°02 à une station située à proximité du Mont Nathorst, 30 kilomètres au Nord du Cap Stewart. Des mesures plus nombreuses que celles que j'ai pu faire seraient nécessaires pour préciser la forme de cette anomalie qui s'explique sans doute par l'existence en profondeur d'un batholithe de basalte d'où sont issus les filons et les dykes qui traversent la terre de Jameson. Ces dykes, aux formes géométriques, pourraient faire l'objet — au cours d'une campagne d'été — de mesures ultérieures intéressantes et faciles, le terrain plat et sans aucun obstacle se prêtant parfaitement à une prospection magnétique.

B) *Dyke de basalte de Saxe (Elbsandsteingebirge).*

E. SCHULZE (*loc. cit.*) a étudié un filon — qu'il considère comme un mur vertical — en faisant plusieurs profils magnétiques perpendiculaires à sa direction. Ces profils orientés N 35° W-S 35° E ont une forme caractéristique reproduite figure 24 B. Au lieu de présenter un maximum ou un minimum unique au passage du filon, l'auteur a trouvé qu'à un maximum important succède, vers le Nord, un minimum notable, « la courbe rappelant plutôt une mesure de composante horizontale ».

Le filon rocheux étudié par Schulze a sensiblement une direction WSW-ENE et il ressort de la courbe que l'axe magnétique est incliné vers le Sud. La paroi Sud du gisement représente un pôle Sud, la paroi Nord, un pôle Nord et l'influence du pôle Sud-est prépondérante car les valeurs des anomalies positives dépassent de 2 à 3 fois celles des anomalies négatives.

Schulze a essayé de déterminer par le calcul en faisant certaines approximations l'inclinaison de l'axe magnétique du filon. Haalck ⁽²⁾ a exposé une méthode de calcul en prenant pour base l'équation de Poisson. Il calcule le potentiel produit en un point par une couche mince inclinée de α sur l'horizon et s'étendant indéfiniment dans le sens perpendiculaire au plan des xz . L'axe des x est l'intersection du plan horizontal avec un plan normal à la couche. L'origine est dans le plan horizontal contenant l'appareil au-dessus de l'horizontale la plus élevée de la couche. Par une série d'approximations, Haalck donne l'expression suivante du potentiel en un point de l'axe des x :

$$(1) \quad P_1 = C \cdot \frac{Z(x + R \cos \alpha) - H \cos \varepsilon (R \sin \alpha - z)}{R(x \sin \alpha + z \cos \alpha)}$$

$R = \sqrt{x^2 + z^2}$; H et Z sont les composantes du champ ; ε , l'angle que fait le méridien avec l'axe des x . Dans le cas d'une couche verticale $\alpha = 90^\circ$; d'où

$$(2) \quad P_1 = C \cdot \frac{Zx - H \cos \varepsilon (R - z)}{Rx}$$

L'origine est prise sur l'axe de symétrie de la couche verticale dont l'épaisseur, suivant l'axe des x , est d ; z désigne toujours la hauteur de l'appareil au-dessus de la roche.

Le potentiel créé par cette couche sera

$$P = C \cdot \int_{x-\frac{d}{2}}^{x+\frac{d}{2}} P_1 dx$$

⁽¹⁾ J.-P. ROTHÉ. — *Observations magnétiques au Scoresby Sund pendant l'année polaire 1932-1933*, Annales I. P. G., tome XIII, 1935, p. 109.

⁽²⁾ H. HAALCK. — *Die magnetischen Verfahren der angewandten Geophysik*, Sammlung geophys. Schriften, 7, Berlin, 1927.

et la variation de la composante verticale $\frac{dP}{dz}$ suivant l'axe des x a pour expression :

$$\frac{dP}{dz} = \Delta Z = C \times \left. \vphantom{\frac{dP}{dz}} \right\} z \sin \varphi \left[\frac{1}{R_2 \left(R_2 - x - \frac{d}{2} \right)} - \frac{1}{R_1 \left(R_1 - x + \frac{d}{2} \right)} \right] - \cos \varphi \cos \varepsilon \left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1} \right) \left. \vphantom{\frac{dP}{dz}} \right\}$$

en posant

$$R_1 = \sqrt{z^2 + \left(x - \frac{d}{2} \right)^2} \quad Z = F \sin \varphi$$

$$R_2 = \sqrt{z^2 + \left(x + \frac{d}{2} \right)^2} \quad H = F \cos \varphi$$

En donnant à z , d et ε des valeurs déterminées on peut construire un réseau de courbes chiffrées en φ , où φ désigne l'inclinaison du champ magnétique.

La comparaison de la courbe expérimentale avec ce réseau de courbes a conduit Schulze dans l'exemple cité à admettre une inclinaison $\varphi = 20^\circ$. Comme il faut également tenir compte de l'induction dans le champ terrestre actuel — proportionnelle à la susceptibilité de la roche —, induction qui se traduirait comme le montre la formule ci-dessus en faisant $\varphi = 66$ degrés par une anomalie presque exclusivement positive, Schulze conclut que l'axe magnétique du filon étudié est *sensiblement horizontal*.

REMARQUES. — La forme de courbe fondamentale figure 24 B est très analogue à celle que j'ai trouvée d'une part dans la prospection d'un bloc d'ophite, d'autre part dans l'étude détaillée des filons basaltiques d'Essey. La méthode de Nippoldt permet de se rendre compte immédiatement, par un calcul plus simple que celui qui a été résumé ci-dessus, que cette forme de courbe est due à une aimantation très sensiblement horizontale. Dans ces deux cas nous avons conclu que cette aimantation horizontale s'expliquait par la présence de blocs *isolés*, conclusion qui était d'accord avec les observations géologiques ; l'allure concentrique des isanômes autour des pôles permettait de confirmer l'hypothèse.

Dans l'exemple de Schulze on ne peut pas dire de l'examen du seul profil transversal si le basalte s'étend indéfiniment dans le sens vertical ou s'il est limité en profondeur.

C) *Dyke de basalte de Lornty* (Blairgowrie, Perthshire).

Les résultats des mesures effectuées par Mac Lintock sur le dyke de basalte de Lornty sont très analogues à ceux, obtenus par Schulze, exposés ci-dessus. Hallimond ⁽¹⁾ a comparé les profils transversaux expérimentaux à des profils calculés en tenant compte de la susceptibilité de la roche et de son intensité d'aimantation.

Les profils expérimentaux (fig. 24 C) montrent encore une forme dissymétrique due à une aimantation propre du basalte, mais dont la direction est opposée à celle qui serait actuellement induite dans le champ terrestre : le côté nord du dyke est un pôle Sud, c'est-à-dire en sens inverse de ce qui a été observé en Saxe. Cette direction concorde avec celle trouvée dans les échantillons de roches étudiées au magnétomètre : approximativement située dans le méridien magnétique, inclinée d'environ 15° sur la verticale ; le pôle sud se trouvant du côté nord du dyke, cette direction fait par conséquent

⁽¹⁾ A. F. HALLIMOND et E. F. HERROUN. — *Magnetic properties of igneous rocks*, Proceedings of the Royal Society, Series A, Vol. 141, London, 1933.

un angle de 35 degrés avec la direction actuelle du champ terrestre ; cette dernière direction est indiquée en I sur la figure 24, C, qui est tracée dans le plan du méridien.

D) *Dykes australiens.*

Je citerai ici encore les prospections du *Impérial Geophysical Experimental Survey* en Australie ⁽¹⁾ sur des dômes et dykes de basalte : l'anomalie maxima trouvée était d'environ 1000 gammas dans le sens opposé au champ actuel. Un sondage fait à proximité de ce point a trouvé du basalte à 2 mètres.

**La variation séculaire du champ magnétique
et les résultats des prospections étudiées dans ce mémoire**

Les résultats très divers des prospections que je viens de passer en revue dans les paragraphes précédents montrent que l'aimantation rémanente, responsable des variations du champ magnétique mesurées à la surface du sol, varie considérablement d'un filon à l'autre même s'ils sont très voisins.

Deux pointements d'Alsace par exemple présentent l'un un pôle Sud vers le haut (*Riquewihl*), l'autre un pôle Nord (*Gundershoffen*). J'ai rappelé que certains filons de Saxe montrent une aimantation permanente presque horizontale mais positive, d'autres au contraire une direction inclinée en sens inverse du champ actuel.

De nombreux travaux déjà anciens ont été entrepris par Folgheraiter, Brunhes et David, Melloni pour fixer les lois de l'aimantation des roches éruptives provenant de la solidification d'un magma liquide. R. Chevallier ⁽²⁾ a dégagé de ces différents travaux les conclusions suivantes :

1° les laves, pendant leur refroidissement s'aimantent suivant le champ terrestre et conservent cette aimantation pendant de longues périodes.

2° leur intensité d'aimantation est d'autant plus grande que leur refroidissement est plus brusque.

3° l'induction temporaire actuelle due au champ terrestre est négligeable vis-à-vis de l'aimantation rémanente.

On peut donc espérer utiliser les renseignements fournis par l'étude magnétique des laves pour connaître la variation séculaire du champ terrestre et inversement pour dater approximativement l'âge d'une coulée. Pour la période historique, Chevallier (*loc. cit.*) a pu étudier avec une grande exactitude les variations de la déclinaison du champ magnétique. Les données sont beaucoup plus rares en ce qui concerne les roches plus anciennes et concernent d'ailleurs presque toujours seulement l'inclinaison. Elles ont été résumées par Roncali ⁽³⁾ à partir des travaux de Brunhes ⁽⁴⁾, P. L. Mercanton ⁽⁵⁾, Matuyama ⁽⁶⁾. Je donnerai ici les résultats fournis par les laves tertiaires et concernant l'inclinaison (l'inclinaison boréale actuelle vers le bas est comptée positivement).

⁽¹⁾ A. B. BROUGHTON EDGE et T. H. LABY, — *The principles practice of geophysical prospecting*, Cambridge 1931, p. 175-193.

⁽²⁾ R. CHEVALLIER. — *L'Aimantation des laves de l'Etna et l'orientation du champ terrestre du XII^e au XVII^e siècle*, Annales de Physique, X^e série, tome IV, Paris 1925 ; on trouvera dans le premier chapitre un résumé bibliographique de travaux antérieurs.

⁽³⁾ G. RONCALI. — *Sulle variazioni secolari del magnetismo terrestre*, Memorie del R. ufficio centrale di meteorologia e geofisica, p. 1-20, Roma, 1935.

⁽⁴⁾ BRUNHES et DAVID. — *Recherches sur la direction d'aimantation des roches volcaniques*, Journal de Physique, 1906.

⁽⁵⁾ P.-L. MERCANTON. — *Inversion de l'inclinaison magnétique aux âges géologiques, nouvelles constatations*, C. R. A. S., t. 194, 1932, p. 1371-1372.

⁽⁶⁾ M. MATUYAMA. — *On the direction of magnetisation of basalt in Japan, Tyosen and Manchuria*, Proc. Imp. Ac., vol. V, p. 203-206, Tokyo, 1929.

TABLEAU XVI

Groënland ⁽⁵⁾ (Godhavn)	Iles Feroë ⁽⁵⁾			Ecosse ⁽⁵⁾	Japon ⁽⁶⁾
	Altitude	Inclinaison	Localité		
— 54° Boréale forte Australe forte	0 mètre	— 52°	Westmanhavn	— 71°	Fushum + 70°
	75 mètres	+ 60°			Mandchourie — 77°
	130 mètres	— 65°			
	150 mètres	— 49°			
	220 mètres	+ 51°			
	100 mètres	— 17°	Fuglefjord	Massif Central français ⁽⁴⁾	Royat + 58°
	310 mètres	— 41°			Royat + 70°
430 mètres	— 33°	Pontfarcin — 74°			
0 mètre	— 76°	Thorshavn			

Le champ magnétique apparaît donc au tertiaire tantôt analogue au champ actuel, tantôt, et cela le plus souvent, en sens inverse du champ actuel. Les mesures faites par Mercanton à Westmannhavn sur cinq assises superposées de basalte font ressortir nettement une double inversion de la direction du champ magnétique. Contrastant avec ces résultats, les mesures sur des laves plus récentes (quaternaire) d'Islande et de Jan Mayen prouvent que l'inclinaison du champ d'abord faible (Eskifjord, — 7°) tend ensuite vers l'inclinaison actuelle du champ dans ces régions (+ 78°).

Ces différents résultats montrent que : 1° la période d'inversion du champ terrestre est petite par rapport aux époques géologiques ; 2° le champ magnétique a eu pendant le passé une tendance nette à garder l'actuelle orientation ou une orientation presque inverse et l'axe magnétique a formé, pendant la majeure partie du temps, un petit angle avec l'axe de rotation du globe ; parmi les deux orientations possibles, les résultats actuellement connus n'indiquent pas de préférence particulière ; la prédominance des données du quaternaire à indiquer une orientation voisine de l'actuelle est compensée par une prédominance analogue opposée des données du Tertiaire (Roncali, *loc. cit.*).

Königsberger ⁽¹⁾ a élevé des critiques contre la méthode de détermination de l'aimantation rémanente au laboratoire sur des échantillons, les valeurs trouvées sur des échantillons voisins montrant souvent de grosses différences. Il me semble que la méthode de prospection, en fournissant une évaluation — très approchée évidemment — de l'inclinaison du champ qui se rapporte à l'ensemble de la masse étudiée, répond à cette objection.

Mes résultats montrent que dans les éruptions volcaniques d'Alsace, on retrouve une double inversion du champ à l'époque tertiaire. On peut dire que le pointement basaltique de Gundershoffen n'est pas

(1) G. KÖNIGSBERGER. — *Zu der Bestimmung des magnetischen Erdfeldes in früherer Zeit aus der Magnetisierung von gebrannten Tongegenständen und von Gesteinen*, G. B., Vol. 38, 1933, p. 47-52.

Voir également, du même auteur :

— *Remanenter und induzierter Magnetismus bei Einlagerungen*, G. B. e. a. G., Vol. 1, 1931, p. 469-471.

— *Über remanenten Magnetismus von Gesteinen*, G. B., vol. 35, 1932, p. 204-216.

— *Gesteinmagnetismus und Säkularvariation*, Z. f. G., VIII, 1932, p. 322-324.

— *Die Abhängigkeit der natürlichen remanenten Magnetisierung bei Eruptivgesteinen von deren Alter und Zusammensetzung*, B. a. G.,

Vol. V, 1935, p. 193-462.

(4) (5) (6). — Ces références se rapportent aux notes correspondantes de la page 58.

contemporain des éruptions d'Essey et de Riquewihr qui présentent entre elles au contraire une grande analogie confirmée par l'examen pétrographique. L'éruption du Gundershoffen est peut-être au contraire contemporaine des filons du Taunus. On peut également noter que le basalte de Gundershoffen présente une susceptibilité nettement inférieure à celle des basaltes de Riquewihr et d'Essey.

En ce qui concerne le massif du Kaiserstuhl, Königsberger a cherché à expliquer par la théorie d'induction les résultats trouvés par Meyer ⁽¹⁾ : les sommets du massif présentent le plus souvent un pôle magnétique nord, mais il existe aussi de vastes régions d'anomalies positives. Je n'ai pas eu connaissance de la carte publiée par Meyer, mais, en se basant sur les résultats fournis par les basaltes alsaciens, il est permis de penser que les éruptions du Kaiserstuhl se sont prolongées assez longtemps pour que l'orientation du champ terrestre ait changé de sens : ainsi les extrêmes négatifs du Kaiserstuhl appartiendraient à la phase d'éruption de Gundershoffen, tandis que les régions d'anomalies positives correspondraient aux éruptions d'Essey-Riquewihr. Une étude détaillée du massif permettrait peut-être de dater l'une par rapport à l'autre les deux périodes.

M. Alexanian ⁽²⁾ a signalé dans l'interprétation d'une carte à grande échelle des anomalies régionales des Vosges que « la grande anomalie Sarrebourg-Saverne se prolonge jusqu'à Gundershoffen. Elle présente d'ailleurs en cet endroit la même allure que celle du Kaiserstuhl ». L'anomalie que signale M. Alexanian est une anomalie positive + 250 gammas qui peut évidemment s'expliquer par le champ d'induction d'une masse rocheuse profonde, de forte susceptibilité. J'avais montré ⁽³⁾ au contraire que comme pour certaines parties du Kaiserstuhl l'anomalie de Gundershoffen est une anomalie locale négative.

Ainsi la prospection magnétique directe apparaît comme un moyen simple de déterminer approximativement l'aimantation permanente de filons basaltiques. On peut même dire qu'elle y réussit mieux que l'examen au laboratoire d'échantillons récoltés sur place, parce que les mesures mettent en évidence une moyenne des effets des diverses parties d'un ensemble souvent hétérogène. Cette méthode permet d'explorer des gisements que le marteau du géologue ne peut atteindre et de distinguer entre eux des pointements qui à première vue paraissent très semblables.

V. — LE MASSIF DE DIORITE DU NEUNTELSTEIN

Constitution géologique. — Le massif granitique du Champ-du-Feu forme vers le Nord le dernier promontoire des Vosges granitiques : les géologues y ont depuis longtemps reconnu dans sa partie médiane l'existence de plusieurs pointements de roches dioritiques de faible étendue ⁽⁴⁾. L'un des plus importants forme le sommet du Neuntelstein (alt. 970 mètres), dont les pentes Est tombent en falaises abruptes par suite de la mise en relief, par érosion, des noyaux dioritiques durs. Ce massif se trouve, à vol d'oiseau, à environ 2500 mètres au nord du village du Hohwald et à 1500 mètres au Nord-Ouest de la station de montagne de la Faculté des Sciences de Strasbourg nouvellement créée.

(1) G. MEYER. — *Berichte der Freiburg. Naturf. Ges.*, 12, 1902.

(2) C. ALEXANIAN. — *Etablissement de la carte des anomalies de la composante verticale du champ magnétique terrestre dans les Vosges*, C. R. A. S., t. 198, p. 1715-17, 1934.

(3) J. P. ROTHÉ. — *Sur le magnétisme des basaltes d'Alsace*, C. R. A. S., t. 198, p. 1443, 1934.

(4) H. BÜCKING. — *Beiträge zur Geologie des oberen Breuschtals*, Mitteilungen der Geologischen Landesanstalt von Elsass-Lothringen, XII, 1, 1918, p. 210 et suiv.

Au point de vue minéralogique on distingue dans cette roche un feldspath calcosodique (plagioclase), de la hornblende, de l'augite, du quartz libre, du mica biotite. Les lames minces montrent la présence d'une grande quantité de *magnétite* ⁽¹⁾.

D'après les analyses chimiques, le géologue ROSENBUSCH a établi ainsi la composition virtuelle des diorites quartzifères du Massif du Champ-du-Feu :

Hornblende	49 %
Plagioclase	35 %
Orthoclase	4 %
Quartz.....	3 %
Magnétite et composés ferriques.....	8 à 9 %

Les analyses chimiques font d'ailleurs apparaître d'assez grandes différences dans la teneur en éléments ferriques : par exemple un échantillon comprend 12,5 % de Fe²O³ + 1 % de FeO ; un autre 4,8 % de Fe²O³ + 5 % de FeO.

D'après J. de Lapparent ⁽²⁾, la mise en place de la diorite est contemporaine de la phase de granitisation du Massif du Champ-du-Feu, au moment des plissements hercyniens et les diorites représentent un premier stade de formation du magma cristallin, correspondant à un moment où l'action des fumerolles acides n'était pas assez prononcée pour atteindre la composition du granite.

Au point de vue qui nous intéresse il y a lieu de remarquer que la magnétite est beaucoup plus abondante dans les diorites que dans les granites avoisinants. La magnétite s'est donc différenciée la première dans la fumerolle au moment de la formation du magma.

Susceptibilité magnétique ; courbes thermomagnétiques. — Les échantillons recueillis sur place ont fourni les résultats suivants :

a)		$k = 4400 \text{ à } 4650 \times 10^{-6}$;	D = 2,90
b)	sommet du rocher	$k = 11600 \text{ à } 16000 \times 10^{-6}$;	D = 2,92

Il est évident qu'on doit constater une hétérogénéité assez grande suivant la quantité de magnétite contenue dans l'échantillon. Cette hétérogénéité montre combien il serait illusoire de rechercher une grande précision dans la mesure des susceptibilités des roches.

La diorite de Neuntelstein fournit à l'examen thermomagnétique ⁽³⁾ une courbe très pure avec un point de Curie brutal à 575° très voisin de celui de la magnétite ; cette courbe est très analogue à celles fournies par les échantillons d'ophite provenant des gisements des environs de Dax dont l'étude a été faite plus haut, et comparable à celle enregistrée par R. Chevallier ⁽⁴⁾ concernant une andésite augitique de Tahiti ⁽⁴⁾. Au contraire les basaltes d'Essey et de Gundershoffen donnent des courbes sans point de Curie net, qui peuvent être rapprochées des courbes intermédiaires du réseau obtenu par Chevallier pour les laves de l'Etna ⁽⁵⁾, courbes dont la déformation s'explique par l'oxydation progressive du magma initial. Ces courbes ne permettent pas d'ailleurs de distinguer entre

⁽¹⁾ On trouvera la photographie d'une lame mince de la diorite du Neuntelstein dans l'ouvrage classique de RINNE, *La Science des Roches*, trad. par L. BERTRAND, Paris, 1928, p. 278.

⁽²⁾ Voir J. JUNG, — *Contribution à la géologie des Vosges hercyniennes d'Alsace*, mémoires du service de la carte géolog. d'Alsace,

n° 2, 1928.

⁽³⁾ Les enregistrements thermomagnétiques ont été effectués par H. Forestier.

⁽⁴⁾ R. CHEVALLIER et J. PIERRE. — *Propriétés thermomagnétiques des roches volcaniques*, Annales de Physique, X^e série, tome XVIII, 1932, p. 424 (fig. 5).

⁽⁵⁾ *Id.*, p. 469.

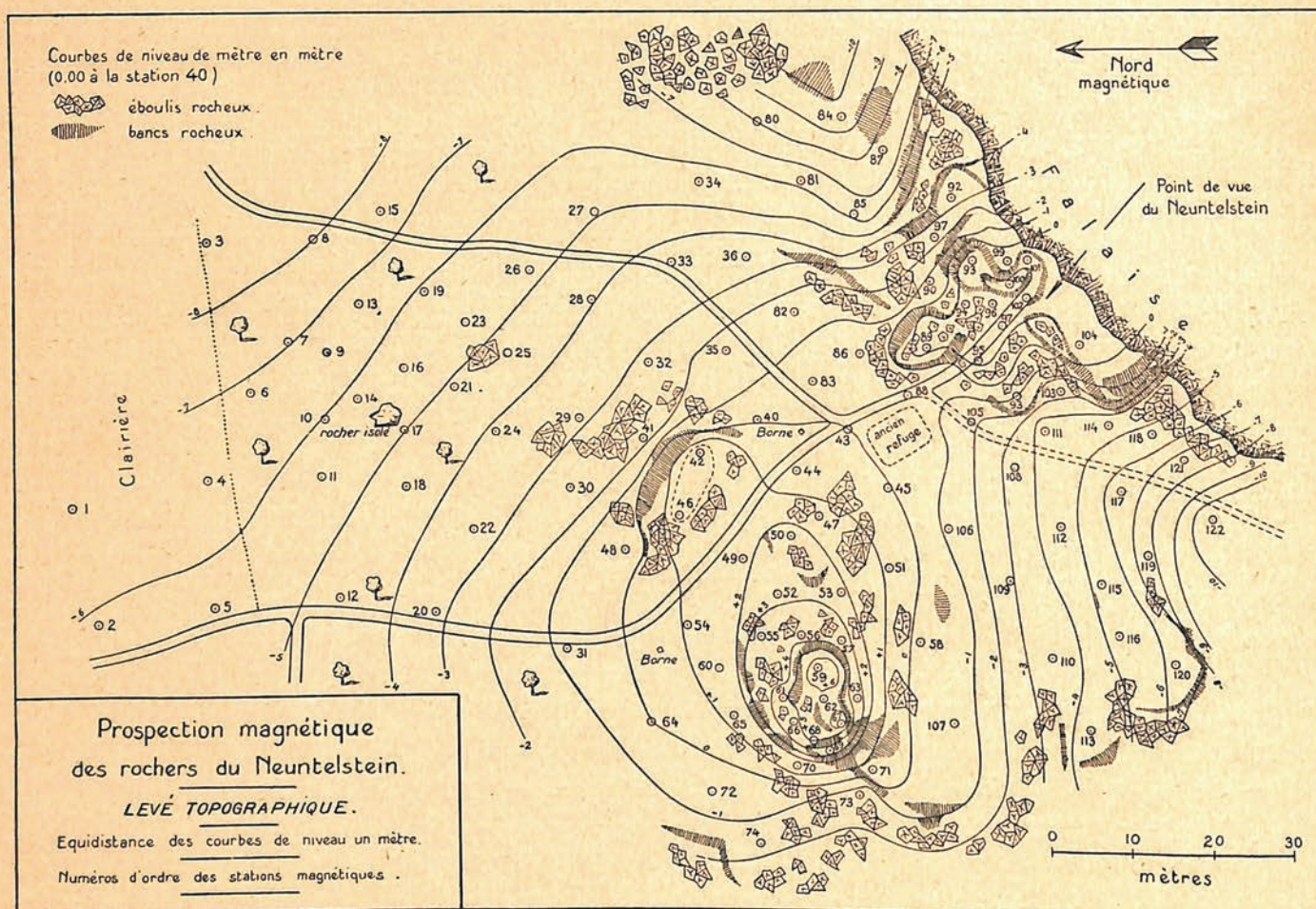


FIG. 25.
Levé topographique des rochers du Neuntelstein.

eux des basaltes qui ont pourtant, la prospection magnétique nous l'a montré, une aimantation rémanente et par suite un âge différent.

Etude magnétique du massif de Diorite. — Un réseau de 120 stations magnétiques s'étendant sur environ 11000 m², c'est-à-dire 1 station par 100 m², a été effectué du 16 au 20 juillet 1935. En même temps j'ai levé à la planchette et à la règle à éclimètre un plan détaillé de la région prospectée. Ce plan est reproduit (fig. 25) : les courbes de niveau ont été tracées de mètre en mètre ; les rochers, escarpements, éboulis ont été représentés par un figuré conventionnel. Il permet la comparaison détaillée des résultats magnétiques et de la configuration du terrain. La région a été divisée en 4 parties :

- Groupe I. — Stations 1 à 36 : pente nord du Neuntelstein.
- Groupe II. — Stations 40 à 74 : butte dioritique Ouest.
- Groupe III. — Stations 80 à 104 : rochers du point de vue et ravin Nord-Est.
- Groupe IV. — Stations 105 à 122 : pente Sud.

J'ai fait fonctionner, pendant l'exécution de ces mesures, un appareil enregistreur (Balance Carpentier-Rothé) à la station de Welschbruch située à 1500 mètres. De plus le matin et le soir je déterminais à la balance de Schmidt la valeur relative de Z en une station A située à proximité du pavillon magnétique. Une deuxième station de base B se trouvait sur le champ même des opérations (sta-

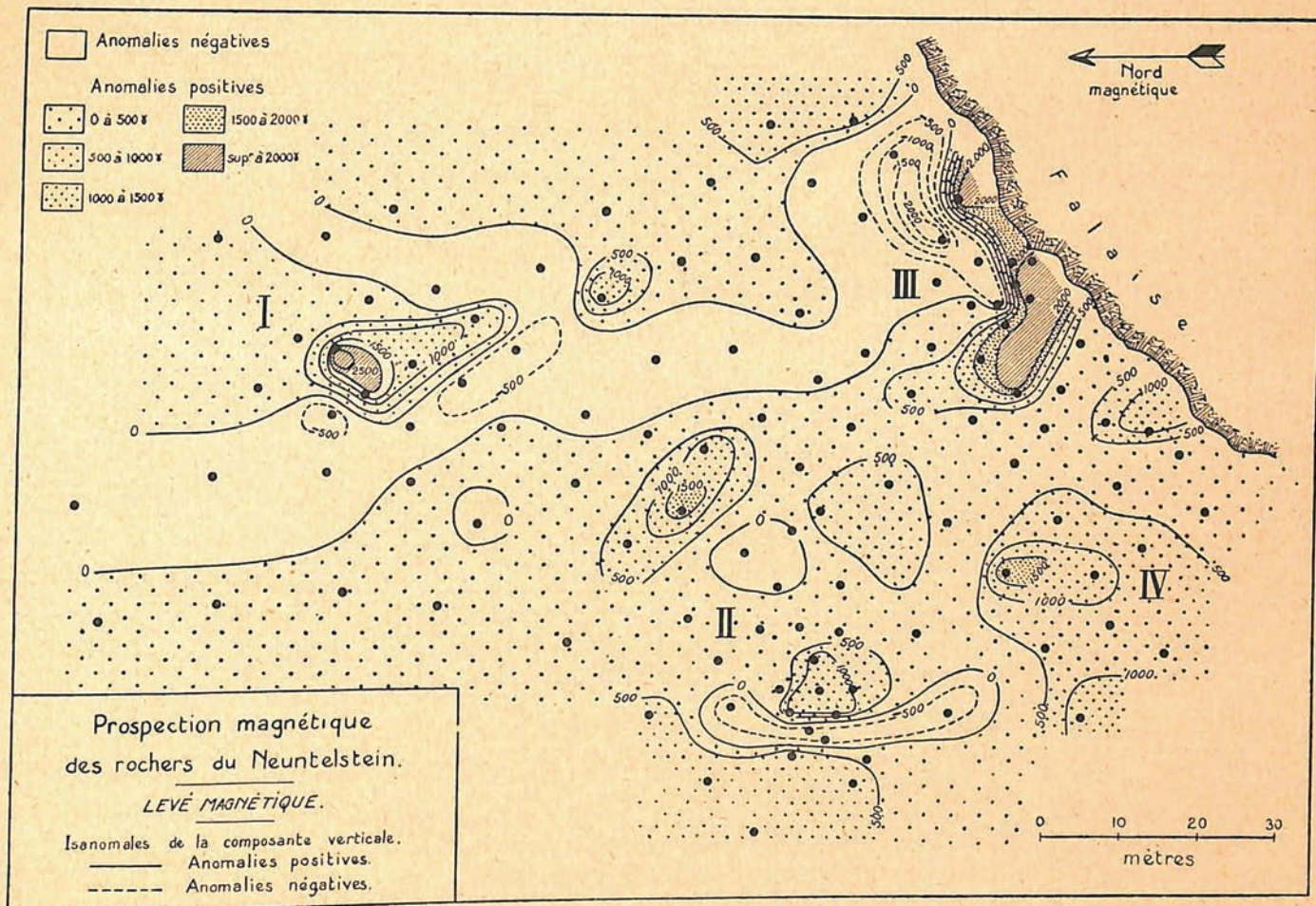


FIG. 26.
Levé magnétique des rochers du Neuntelstein.

tion 43) et des mesures y étaient de même faites matin et soir, souvent même plusieurs fois par jour, de manière à assurer un contrôle effectif sur les variations accidentelles de la valeur de base.

Le tableau XVII groupe les valeurs obtenues aux deux stations de base (lectures en division d'échelle, corrigées de la variation diurne, rapportées à une même valeur absolue de Z).

TABLEAU XVII

Dates	16 soir	17 matin	17 soir	18 matin	18 soir	19 matin	19 soir	20 matin	20 soir
A.....	37,70	37,91	38,20	38,68	38,70	39,07	37,17	36,94	36,45
B.....	50,83	50,91	51,40	52,21	51,68	50,90	50,32	50,03	49,57
Différence ..	13,13	13,00	13,20	13,53	12,98	11,83	13,15	13,09	13,12

De ces 9 groupes de valeurs, sept sont parfaitement concordants ; les valeurs absolues en une même station varient notablement d'un jour à l'autre, mais de manière analogue dans les stations, de façon à fournir une différence moyenne de 13,10 avec des écarts maximums de + 0,10, et - 0,12

soit en gammas moins de 3 unités (1 division d'échelle = 25 gammas). La valeur du 18, matin, s'écarte un peu de cette moyenne. Enfin la valeur discordante du 19 au matin montre que pendant le transport — en auto par une route forestière en mauvais état — il s'est produit un choc qui a provoqué une variation de la valeur de base. Ainsi les mesures répétées en deux stations de base légitiment l'emploi comme valeurs de base des valeurs obtenues à la station B (station 43) en opérant de la manière suivante :

Toutes les mesures ont été pour chaque jour rapportées à cette station B. Lorsque les valeurs obtenues à cette station sont différentes le matin et le soir, par suite de la variation de la base au cours de la journée, j'ai réparti cette variation proportionnellement au temps sur les différentes stations effectuées au cours de la journée (correction complémentaire de base). Enfin j'ai ramené toutes les valeurs obtenues au Neuntelstein à la base A — station magnétique de Welschbruch située en dehors du massif dioritique sur un terrain granitique où le champ magnétique peut être considéré comme normal — en leur ajoutant la différence moyenne calculée plus haut exprimée en gammas, soit + 320 γ .

Les résultats définitifs arrondis aux dizaines de gammas sont étudiés dans les paragraphes suivants :

Groupe I

TABLEAU XVIII

St	Z	St	Z	St	Z	St	Z	St	Z	St	Z
1	— 100 γ	7	+ 140 γ	13	+ 80	19	— 210	25	— 590	31	+ 80
2	+ 90	8	— 430	14	+ 2020	20	+ 110	26	— 260	32	— 280
3	+ 160	9	+ 2920	15	+ 400	21	— 880	27	+ 380	33	+ 170
4	— 280	10	— 590	16	+ 1280	22	— 120	28	+ 1360	34	+ 320
5	+ 30	11	— 250	17	— 20	23	+ 930	29	— 190	35	— 40
6	+ 120	12	+ 150	18	+ 400	24	+ 210	30	+ 220	36	+ 390

Ce premier groupe comprend des stations situées sur un terrain relativement homogène, descendant en pente douce vers le nord ; quelques blocs isolés de diorite sont seuls visibles en surface. On pourrait donc s'attendre à ce que le champ magnétique soit à peu près normal, ou du moins varie d'une manière régulière. La carte des isanomales montre au contraire deux fortes anomalies positives (stations 9, 14, 16, 23, de + 1000 à + 3000 gammas) ; et station 28, + 1360 gammas). En même temps ces maximums positifs apparaissent entourés par des zones d'anomalies négatives sur lesquelles nous reviendrons plus loin.

Groupe II

TABLEAU XIX

St	Z	St	Z	St	Z	St	Z	St	Z	St	Z
40	+ 230	46	+ 1740	52	— 60	58	+ 420	64	+ 510	70	+ 840
41	+ 50	47	+ 740	53	+ 260	59	+ 1250	65	— 860	71	+ 190
42	+ 1230	48	+ 910	54	+ 390	60	+ 110	66	+ 1320	72	+ 1480
43	+ 320	49	— 100	55	+ 120	61	+ 260	67	+ 1140	73	+ 630
44	+ 110	50	0	56	+ 310	62	+ 1390	68	— 610	74	+ 600
45	+ 740	51	+ 800	57	+ 350	63	+ 790	69	— 650		

Les stations de ce groupe appartiennent toutes à la butte culminante de la région étudiée, butte qui domine d'environ 6 mètres la surface inclinée du plateau. Cette butte présente deux pointements rocheux en bancs compacts, l'un peu élevé au Nord, l'autre formant le point culminant au Sud. Le levé magnétique reproduit d'une manière générale l'aspect topographique ; deux maximums importants (stations 42, 46, 48, au nord, + 1000 à + 1700 gammas ; stations 59, 62, 66, 67, + 1000 à 1400 gammas). Entre ces deux maximums se place une zone d'anomalie faiblement négative où le champ est normal presque égal à celui qu'on trouve à la station de base de Welschbruch (stations 49, 50, 52). Enfin les flancs sud, assez escarpés, dominés par les bancs rocheux, compacts du sommet, présentent un minimum magnétique prononcé.

La diorite compacte, visible en place, provoque donc des anomalies positives marquées. On pourrait penser que c'est seulement la proximité même de la roche (l'appareil se trouve environ à 1 mètre de la surface supérieure rocheuse) qui amène les perturbations et que, là où la diorite n'est pas visible, la perturbation disparaît par suite de la plus grande profondeur de la roche. Les résultats du groupe I s'inscrivent contre cette objection puisqu'ils prouvent l'existence de perturbations beaucoup plus importantes dans une région où aucun banc compact de diorite n'est visible.

Groupe III
TABLEAU XX

Station	Z	Station	Z	Station	Z	Station	Z	Station	Z
80	+ 840	85	— 450	90	— 300	95	+ 1530	100	+ 3700
81	— 110	86	— 20	91	— 2480	96	— 790	101	+ 2020
82	+ 160	87	— 1030	92	+ 2020	97	+ 1670	102	+ 2300
83	— 30	88	+ 750	93	— 510	98	+ 2360	103	+ 250
84	+ 560	89	+ 180	94	+ 100	99	+ 1750	104	+ 70

Les stations de ce groupe comprennent le rocher du Neuntelstein proprement dit (Point de vue où aboutit le sentier venant du Hohwald) et le ravin situé en contrebas de ce rocher vers le Nord-Est. Le rocher se termine vers le Sud-Est par un escarpement abrupt de plusieurs dizaines de mètres et j'ai arrêté les mesures au rebord supérieur de l'escarpement. Vers l'Est le rocher compact descend en marches successives sur lesquelles un certain nombre de stations ont été établies. Les anomalies magnétiques sur le rocher compact sont considérables, *aussi bien positives que négatives* : — 2480 gammas à + 3700 gammas, entre les stations 92 et 100, situées seulement à une quinzaine de mètres l'une de l'autre.

Groupe IV
TABLEAU XXI

Station	Z	Station	Z	Station	Z	Station	Z	Station	Z
105	+ 170	109	+ 1720	113	+ 1480	117	+ 280	121	+ 120
106	+ 210	110	+ 530	114	+ 980	118	+ 1160	122	+ 150
107	— 670	111	— 340	115	+ 1410	119	+ 660		
108	+ 370	112	+ 620	116	+ 620	120	+ 950		

Les stations sont réparties sur deux escarpements de diorite compacte et dans le talweg peu prononcé qui les sépare. Aux deux escarpements correspondent des maximums positifs comme il fallait s'y attendre ; en plus un maximum prononcé (+ 1720 gammas à la station 109) apparaît, comme dans le groupe I, dans une région où aucun bloc compact n'est visible. Entre ces maximums les valeurs tendent rapidement vers la valeur normale du champ en dehors du massif dioritique.

Les maximums négatifs. — On peut penser que les valeurs négatives ont surtout une origine topographique, certaines des stations se trouvant au pied d'escarpements dioritiques qui dominent l'appareil de plusieurs mètres. Si on suppose que la surface visible est aimantée uniformément (en l'espèce pôle Sud, puisque l'effet total du massif est une augmentation du champ) l'effet des masses rocheuses doit s'inverser suivant que les masses se trouvent placées au-dessus ou au-dessous de l'axe d'équilibre de l'appareil. Cet effet de relief (KÖNIGSBERGER, *loc. cit.*) joue évidemment un certain rôle, mais il ne permet pas d'expliquer toutes les anomalies rencontrées. En effet si à la station 65, située à 1 mètre d'une face de rocher la dominant de 3 mètres environ, on note une anomalie négative de 1180 gammas, au contraire à la station 70 qui se trouve à proximité et en dessous de rochers élevés, on note une anomalie positive de + 520 gammas.

L'exemple des stations 93 et 96 est encore plus concluant. Ces stations sont placées sur la surface supérieure du rocher dans la même position que les stations 99, 100, 101 ou 104. Aux deux premières on trouve une anomalie négative considérable ; aux autres, des anomalies fortement positives ; à la station 104 sur le même rocher compact, une valeur presque normale (+ 70 gammas). Le relief, qui pour certaines stations du réseau introduit certainement une cause d'erreur difficile à apprécier, ne joue plus ici aucun rôle.

La hauteur de l'appareil au-dessus du banc rocheux a naturellement une grande importance, l'anomalie variant avec la puissance 3 de la distance au corps perturbant. L'expérience suivante à la station 93 rend compte du fait.

Appareil à 1 mètre du sol (branches du pied tirées à longueur normale), anomalie négative 500 gammas.

Appareil à 0 m. 50 du sol (pied réduit de moitié), anomalie négative 675 gammas.

L'anomalie négative augmente parce qu'on se rapproche d'un pôle Nord magnétique. *L'existence de tels pôles magnétiques Nord à la surface du rocher dioritique est donc certaine.*

Il est difficile de les expliquer par un effet de rémanence étant donnée la formation de la roche elle-même. En réalité, certaines parties isolées de la roche se comportent comme des aimants horizontaux, fait que j'ai déjà signalé à plusieurs reprises et qui a été reconnu en particulier par Heiland dans une prospection de magnétite dont je dirai quelques mots.

Conclusion : Les cartes géologiques présentent le massif de Neuntelstein comme un massif dioritique homogène. La carte magnétique figure 26 montre au contraire une grande hétérogénéité. Dans l'étendue prospectée, cette carte fait ressortir l'existence d'un certain nombre de pointements magnétiques : les uns sont associés à des roches visibles, aux autres au contraire l'examen du terrain superficiel ne permet de donner aucune explication. Ces anomalies pourraient correspondre à une concentration de magnétite plus élevée en certains points du massif dioritique.

On ne s'expliquerait pas cependant que les anomalies soient faibles ou nulles en un si grand nombre de stations, car le massif dioritique, formant un tout, devrait avoir un effet important pour

toutes les stations de la région prospectée. Mais je crois plutôt naturel d'admettre que la magnétite est intimement associée à la diorite et que la carte magnétique met en réalité en évidence les « amandes » de diorite au milieu d'un magma cristallin encaissant. Parmi ces « amandes » dioritiques, les unes sont déjà mises en relief par l'érosion, et forment ainsi de véritables « dykes » au milieu du granit, ces dykes sont bien visibles sur la carte topographique, les autres au contraire sont masqués par les terrains de surface et sont seulement visibles sur la carte magnétique.

Analogie avec la prospection de magnétite à Caribou (Colorado). — M. HEILAND et ses collaborateurs ⁽¹⁾ ont publié le résultat d'une prospection sur un gisement de magnétite du Colorado. La magnétite est répartie dans des gabbros et pyroxénites et sa concentration est plus élevée en un certain nombre de points qui constituent des gisements séparés. Les auteurs ont étudié l'un des gisements qui

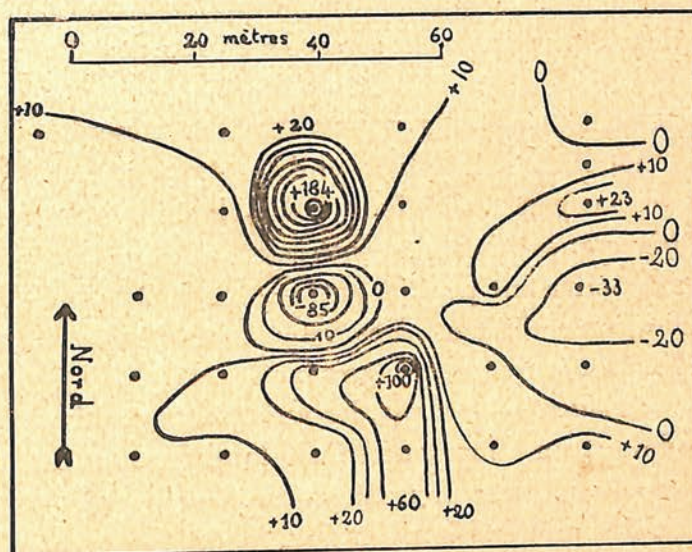


FIG. 27.

Prospection magnétique du Caribou (Colorado).

Carte schématique d'isomales tracées d'après les données numériques d'Heiland ; l'unité employée est 1000 gammas.

s'étend sur une surface de 300×300 mètres. Les stations magnétiques sont espacées d'environ 20-mètres, la densité des stations est de une station par 500 mètres carrés ⁽²⁾.

Les anomalies observées sont considérables, beaucoup plus grandes que dans l'exemple du Neuntelstein que nous venons d'étudier ; mais la répartition des anomalies présente une analogie avec celles qui résultent de mes mesures. A Caribou la composante verticale en valeur absolue présente des maximums considérables (+ 238000 gammas soit 2 gauss 38), mais aussi des minimums importants allant jusqu'à - 30000 gammas. Les anomalies vont de + 185000 gammas à - 85000 gammas. La déclinaison varie de + 158 degrés à - 161 degrés.

La carte magnétique fait ressortir des irrégularités considérables par suite de la distribution sporadique de la magnétite dans le gabbro. J'ai reproduit figure 27 une partie de la carte publiée par

⁽¹⁾ C. HEILAND, C. W. HENDERSON et J. A. MALKOWSKY. — *Geophysical investigations at Caribou, Colo, United States department of commerce, Technical paper 429, 1929.*

⁽²⁾ On trouvera la reproduction des cartes topographique et magnétique dans : C. ALEXANIAN, *Traité pratique de prospection géophysique*, Béranger, Paris, 1932.

Heiland afin d'en montrer les analogies — à un facteur d'intensité près — avec celle que j'ai dressée du Neuntelstein.

On remarquera que la densité des stations au Neuntelstein est, pour des anomalies beaucoup moindres, plus forte que dans le levé de M. Heiland. Il semble bien que en raison de l'ampleur de l'anomalie à Caribou, la densité des stations soit beaucoup trop faible dans ce levé ; aussi les courbes dont le tracé peut être effectué de plusieurs façons, exposent par endroits au risque de ne pas rendre un compte exact des phénomènes. Les auteurs ont attiré l'attention sur la nécessité de mesures topographiques et ils ont constaté que la plupart des anomalies positives se plaçaient sur des crêtes topographiques (14 cas sur 19).

Néanmoins il y a, comme dans mon levé du Neuntelstein, un certain nombre de minimums caractérisés qui ont amené les auteurs à discuter les causes des anomalies négatives :

1^o La grandeur des effets topographiques serait beaucoup plus faible que les anomalies négatives constatées.

2^o L'anomalie négative, comme nous l'avons vu dans les exemples des filons de basaltes, peut être due à l'inclinaison du dépôt et devrait se trouver du *côté nord* et en *dehors du terrain* où se trouve concentrée la magnétite. Aucune de ces conditions ne semble remplie à Caribou, et comme au Neuntelstein, les anomalies négatives *apparaissent à l'intérieur* des limites du gisement.

3^o Des morceaux de magnétite ont pu être entraînés de telle manière que les pôles nord de la plus grande partie soient dirigés vers le haut. Les auteurs ont vérifié qu'au voisinage des anomalies négatives de Z la polarité de la roche de surface était bien *nord*.

Existence d'aimants horizontaux. — En fait, les anomalies négatives sont dues probablement à l'effet magnétique que produirait un aimant de courte longueur. Les lentilles isolées de magnétite, pure comme au Caribou ou en concentration suffisante comme au Neuntelstein, constituent, sous l'action du champ terrestre, des aimants horizontaux, et on observera une anomalie négative au-dessus des pôles nord et au contraire une anomalie positive au-dessus des pôles sud. On doit par conséquent s'attendre à trouver, à côté d'anomalies positives, des anomalies négatives présentant le même caractère d'isolement et ayant approximativement la même valeur. Ce fait est apparent sur le fragment de carte reproduit figure 27. M. Heiland donne à ce sujet quelques chiffres qui fixent un ordre de grandeur à ces aimants théoriques ; ces chiffres sont tout à fait de l'ordre de ceux que j'ai indiqués plus haut pour les anomalies d'Essey et du basalte du Cerisier noir.

	Anomalie positive	Anomalie négative	Distances	aimantation
Mesures HEILAND	+ 24000 γ	-33000 γ	13 mètres	
	+ 184000	-85000	13 mètres	
	+ 52000	-50000	21 mètres	
	+ 83000	-24000	22 mètres	
Mesures J. ROTHÉ *				
Essey (Basalte)	+ 2200	- 1800	11 mètres	Sud-Nord
Cerisier Noir (Basalte).....	+ 150	- 130	5 mètres	id.
Neuntelstein (Diorite)	+ 2020	- 2480	6 mètres	id.
Essey (Basalte)	+ 3000	- 3380	7 mètres	Nord-Sud

Ces chiffres de distance sont naturellement approximatifs, car une précision plus grande nécessiterait une densité de stations pratiquement irréalisable. On trouverait probablement des distances plus courtes dans les expériences de Caribou si les stations avaient été plus serrées.

En outre, si la formation de ces aimants horizontaux tient à *une induction du champ magnétique terrestre actuel*, ils doivent présenter leurs pôles nord vers le nord magnétique et par suite *les anomalies négatives doivent se trouver au nord des anomalies positives*. C'est justement le cas pour trois des exemples personnels que j'ai cités (pour le quatrième, j'ai fait des réserves quant à son origine). Au contraire les exemples de Heiland, dans sa prospection de Caribou, montrent (fig. 27) des anomalies négatives au *Sud* des anomalies positives et il ne semble pas que l'auteur ait attiré l'attention sur ce point.

CHAPITRE III

PROSPECTIONS MAGNÉTIQUES EN TERRAIN SÉDIMENTAIRE.

La prospection magnétique en terrain sédimentaire a déjà fait l'objet de nombreuses recherches généralement dans un but pratique immédiat, localisation de bassins potassiques, contours de dômes de sel, etc...⁽¹⁾. Les mesures que j'ai exécutées dans cet ordre d'idée confirment les résultats généraux : les variations de la composante verticale observées au voisinage d'un dôme de sel ou d'une faille amenant une dénivellation dans les couches salifères sont toujours à la limite des erreurs expérimentales, de l'ordre de 10 à 20 gammas.

Je développerai dans le chapitre deux exemples seulement de prospection ayant un caractère plus général et dont je retiendrai les résultats pour l'argumentation du chapitre IV, qui comportera l'étude d'une anomalie régionale. J'étudierai donc successivement :

- I. La faille vosgienne.
- II. L'anticlinal du Pays de Bray.

I. — LA FAILLE VOSGIENNE

Les failles et la prospection magnétique : calculs théoriques. — Parmi les problèmes géologiques qui ont retenu l'attention des géophysiciens, celui de la détermination des failles a occupé une place importante. Si la méthode magnétique a souvent été utilisée dans ce but, les conclusions auxquelles elle a conduit sont parfois contradictoires et c'est ce qui m'a engagé à apporter dans cette controverse mes résultats personnels.

Il est bien évident qu'une faille qui met en contact deux couches de susceptibilités différentes, à condition toutefois que ces susceptibilités aient une valeur absolue suffisamment élevée, doit introduire une variation dans la composante verticale du champ magnétique, variation qui doit se manifester lorsqu'on mesure cette composante le long d'un profil perpendiculaire à la faille passant successivement au-dessus des deux couches. Plusieurs modes de calcul approché ont été proposés, fondés sur les théories classiques du potentiel gravimétrique et magnétique⁽²⁾ ; leur intérêt est de permettre tout au moins de se rendre compte de l'allure de cette variation.

La théorie de Haalek permet de calculer la forme théorique de la courbe de variation. Dans la

(1) Une bibliographie de cette question a été récemment donnée par C. A. HEILAND, *Geophysics in the nonmetallic field*, Colorado School of mines, publ. n° 56, transactions A. I. M. E., vol. 110, New-York meeting, 1934.

(2) Voir : E. ROTHE. — *Les méthodes de prospection du sous-sol*, Gauthier-Villars, Paris, 1930, p. 104-111.

formule générale (1), rappelée plus haut, p. 56, on fait $z = 0$ et le potentiel créé par une couche horizontale mince s'écrit :

$$(2) \quad P_1 = C \cdot \frac{Z(x + R) + Hz \cos \varepsilon}{Rz} \quad \text{avec} \quad R = \sqrt{x^2 + z^2}.$$

C, proportionnel au coefficient d'aimantation induite de la couche, est la caractéristique physique du problème. Le potentiel créé par une couche d'épaisseur d est

$$P = C \int_z^{z+d} dP_1 = C \int_z^{z+d} \frac{Z(x + R) + zH \cos \varepsilon}{Rz} dz.$$

La variation de la composante verticale $\Delta Z = \frac{dP}{dz}$ a pour expression, si on suppose $\frac{H}{Z} \cos \varepsilon = 0$

$$(3) \quad \Delta Z = CZ \left(\frac{2d}{z(z+d)} + \frac{z+d}{\sqrt{x^2 + (z+d)^2} (x + \sqrt{x^2 + (z+d)^2})} - \frac{z}{\sqrt{x^2 + z^2} (x + \sqrt{x^2 + z^2})} \right)$$

Nous pouvons considérer maintenant deux couches de même épaisseur et de même aimantation

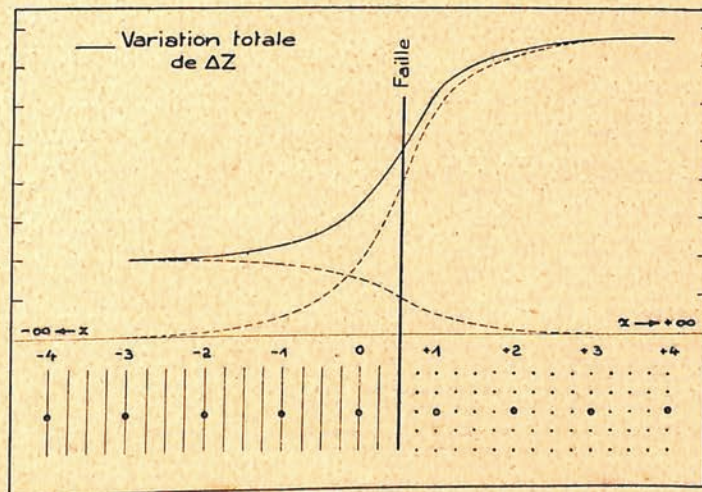


FIG. 28.

Variation théorique de ΔZ au passage d'une faille.
(Les pôles de droite sont 4 fois plus magnétiques que ceux de gauche.)

s'étendant, l'une de $-\infty$ à 0, l'autre de 0 à $+\infty$ et dénivelées l'une par rapport à l'autre de la quantité $z_2 - z_1$, z_1 et z_2 étant les profondeurs respectives des surfaces supérieures des deux couches : $z_2 - z_1$ représente donc le *rejet* de la faille. On suppose que les milieux encaissants des deux couches sont neutres au point de vue magnétique.

La variation totale de la composante verticale au passage de la faille est donnée par $\Delta Z_1 + \Delta Z_2$ d'après l'équation (3) où x varie de $-\infty$ à $+\infty$ et où z prend successivement les valeurs z_1 et z_2 .

La formule est générale et on peut calculer ainsi la forme de variation de ΔZ correspondant à n'importe quelle condition géologique. L'influence du compartiment abaissé devient rapidement négligeable dans le cas d'un rejet important. J'ai calculé que si on pose $d = 10$, $z_1 = 1$, $z_2 = 10$, l'influence de la couche abaissée devient négligeable à 5 0/0 près.

Nippoldt ⁽¹⁾ remplace l'intégration précédente par la somme des effets dus à une suite discontinue d'aimants verticaux supposés placés à la distance unité les uns des autres ; une partie de ces aimants sera placée à la profondeur 1 ; les autres à la profondeur 3. La méthode exposée plus haut, p. 27 s'applique immédiatement au calcul de l'effet magnétique dû à la dénivellation de la couche représentée par ces aimants.

Il est encore plus simple, si l'on veut se placer dans les conditions expérimentales étudiées plus loin (contact superficiel de granit et de grès par exemple), de considérer seulement une ligne de pôles de signe unique, positif par exemple, placés à la distance unité les uns des autres, mais dont l'intensité d'aimantation est k pour les uns, et nk pour les autres. J'ai supposé les pôles placés aux distances x suivantes :

x	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5	+6
Intensité	k	k	k	k	k	$4k$	$4k$	$4k$	$4k$	$4k$	$4k$

Le résultat du calcul est représenté (fig. 28) ; la courbe obtenue peut être considérée comme la courbe théorique type de la variation de la composante verticale au passage d'une faille.

Résultats expérimentaux sur la faille Vosgienne

Le massif hercynien des Vosges se trouve limité vers la plaine rhénane par une grande fracture qui généralement se décompose en plusieurs failles étagées entre lesquelles sont des compartiments de terrains plus ou moins affaissés. Cet accident important met donc en contact des terrains très différents les uns des autres, le complexe gneiss-granit avec les terrains secondaires de sa couverture, les différents terrains secondaires entre eux, enfin les terrains secondaires avec le remplissage oligocène du bassin rhénan. J'exposerai ici les résultats d'une prospection magnétique dans ces différents cas.

TABLEAU XXII

App. Askania n° 98586 ; Valeur d'échelle : 30 γ /division ; coeff. température 0,25 ($t - t_0$).

Numéro des stations	19 mai 1931				5 juin 1931				5 août 1931				Moyenne	Numéro des stations	
	Lecture moyenne	Z Val-Joyeux + 4.500	Température	Lecture corrigée	Lecture moyenne	Z Val-Joyeux + 4.500	Température	Lecture corrigée	Lecture moyenne	Z Val-Joyeux + 4.500	Température	Correction complémentaire			Lecture corrigée
1	30,75	94	20°0	30,95	29,31	81	23°5	30,81	28,60	88	25°2	0,6	30,90	30,90	1
2	30,43	95	20°5	30,75	30,04	86	21°9	30,94	—	—	—	—	—	30,85	2
3	30,55	98	20°7	30,81	30,22	90	21°4	30,90	28,76	91	25°0	0,6	30,90	30,88	3
4	30,00	94	20°7	30,37	30,16	92	21°4	30,77	—	—	—	—	—	30,57	4
5	29,93	102	20°0	29,87	30,29	94	21°0	30,74	28,45	92	25°0	0,6	30,56	30,65	5
6	31,43	102	20°0	31,37	30,00	94	21°0	30,45	28,43	92	25°0	0,6	30,54	30,50	6
7	30,83	103	20°0	30,74	29,35	84	23°5	30,75	—	—	—	—	—	30,75	7
8	29,42	82	21°4	30,37	28,55	92	26°4	30,40	28,25	93	25°0	0,6	30,33	30,35	8
9	28,85	81	23°0	30,23	28,96	85	23°8	30,41	—	—	—	—	—	30,30	9
10	28,66	80	23°2	30,12	28,59	86	24°0	30,06	28,15	94	24°0	0,6	29,95	30,05	10
11	28,71	89	24°0	30,08	28,51	88	24°5	30,03	—	—	—	—	—	30,05	11
12	28,66	89	25°5	30,27	28,40	89	25°3	30,10	29,11	94	21°7	0,6	30,33	30,25	12

⁽¹⁾ NIPPOLDT. — *Loc. cit.*, p. 42.

A) **Faïlle vosgienne dans les Vosges du Nord : contact grès triasique-oligocène.** — Les mesures ont été effectuées en bordure orientale du horst du Hochwald dans une zone située à 2 kilomètres NNW du village de Lobsann. Les marnes oligocènes ⁽¹⁾ (60 mètres de marnes bleues stampiennes surmon-

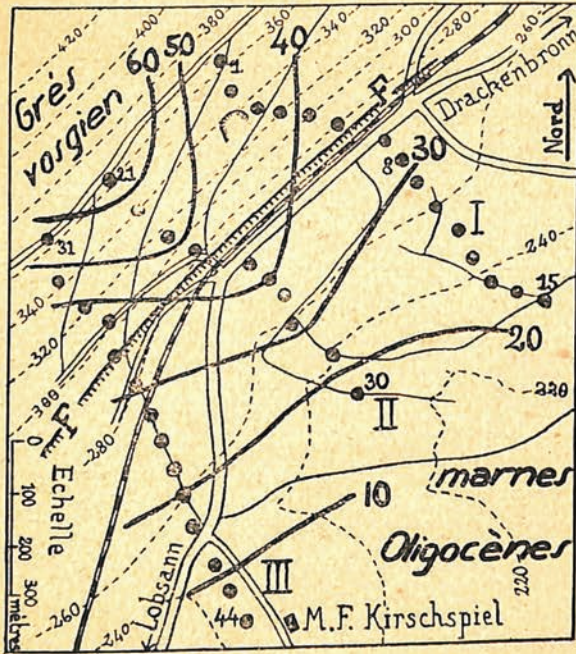


FIG. 29.

Prospection magnétique de la faille du Hochwald.

F-F, faille; traits interrompus fins, courbes de niveau de 20 en 20 mètres; traits pleins, isanomales de 10 en 10 gamma; ● 21, stations magnétiques et numéro d'ordre du tableau XXIII.

Profil I		Profil II				Profil III					
St.	ΔZ	St.	ΔZ	St.	ΔZ	St.	ΔZ	St.	ΔZ		
1	45 γ	9	31	21	61 γ	29	23 γ	31	58 γ	38	22 γ
2	45	10	25	22	54	30	16	32	41	39	21
3	46	11	27	23	51			33	39	40	27
4	36	12	30	24	55			34	35	41	-56 ?
5	40	13	24	25	45			35	30	42	14
6	34	14	36	26	51			36	30	43	7
7	43	15	28	27	34			37	21	44	2
8	32			28	59?						

TABLEAU XXIII

App. Askania n° 98586; Valeur d'échelle: 30 γ /division;

coeff. température 0,25 ($t - t_0$).

tant les formations de calcaires et de sable bitumineux de Lobsann) viennent buter entre le grès vosgien triasique qui forme un escarpement de 200 mètres de hauteur. J'ai exécuté 39 stations réparties sur 3 profils perpendiculaires à l'accident. Les variations observées étant faibles, j'ai refait trois fois un certain nombre de stations du profil I, à des dates assez éloignées. Malgré l'importance des corrections effectuées (70 à 80 γ pour la température, 20 γ pour la variation diurne), ces valeurs comparatives s'écartent généralement peu les unes des autres, ainsi qu'en témoigne le tableau XXII, que je publie comme exemple de l'ordre de grandeur à attendre des variations de l'élément magnétique en terrain sédimentaire, et comme exemple de l'importance des corrections à apporter aux lectures brutes. Les écarts sont souvent de l'ordre d'un dixième de division d'échelle seulement, (3 γ); néanmoins certains écarts sont plus importants sans qu'on puisse en apercevoir nettement la cause.

Les stations ont toutes été ramenées à une seule station de base et une correction de 10 γ par kilomètre de latitude a été appliquée au réseau. Les stations sont numérotées à partir du NW sur chacun des trois profils, leur emplacement est reporté sur la carte (fig. 29) et les valeurs relatives de la composante verticale figurent dans le tableau XXIII.

Les isanomales tracées de 10 en 10 γ sur la carte (fig. 29) ne font pas ressortir de façon nette

(1) M. GIGNOUX et C. HOFFMANN. — *Le bassin pétrolifère de Pechelbronn*, Bulletin du service de la carte géologique d'Alsace et de Lorraine, tome I, fasc. I, 1929, p. 7.

l'accident cherché. Les profils magnétiques (fig. 30) confirment qu'il s'agit là, non pas d'une *anomalie locale* due au contact de deux terrains différents, mais au contraire d'une *anomalie régionale* ayant une cause plus profonde ; la composante verticale augmente régulièrement vers le NW de 40 à 60 γ par kilomètre et les valeurs trouvées aux différentes stations s'écartent de quelques γ seulement de part et d'autre des valeurs moyennes correspondant à cette distribution régulière. (Deux valeurs aberrantes ont été éliminées). Je ne discuterai pas ici l'origine de cette anomalie régionale (1).

B) **La faille vosgienne aux environs de Riquewihr (Haut-Rhin).** — Au Nord de Riquewihr (Haut-Rhin), la faille vosgienne met en contact un important massif granito-gneissique qui forme la bordure orientale des Vosges avec un petit compartiment affaissé de grès rouge vosgien. Le profil magnétique a été exécuté perpendiculairement à la faille dans la direction SE-NW suivant un sentier forestier qui conduit de Riquewihr au Bildstein : le centre du profil se trouve à environ 900 mètres NNW de l'église de Riquewihr. La ligne de faille se remarque très facilement dans la topographie ; les éboulis ont peu d'extension, les grès et les gneiss compacts se succèdent rapidement le long du profil ; les différences de niveau sont peu importantes ; le grès forme un plateau (stations 1 à 6) qui est séparé du massif de gneiss (stations 12 à 16) par un col peu marqué ; un niveau d'eau (station 8) jalonne la faille. Il n'y a aucune cause accidentelle de perturbation et par suite les conditions sont ici très favorables à une étude magnétique.

Comme dans l'exemple précédent l'intervalle entre les stations était peut-être un peu grand, j'ai adopté ici un intervalle de 10 mètres certainement suffisant pour mettre éventuellement en évidence la variation due au passage d'un terrain à l'autre, l'emplacement de la faille était connu avec précision. Le graphique (fig. 31) représente les résultats de la prospection : pour les 16 stations considérées l'écart maximum ne dépasse pas 10 gammas ; la forme de la courbe ne permet pas de distinguer l'accident géologique ; peut-être le niveau d'eau se traduit-il seulement par une faible diminution de Δz de l'ordre de 5 à 6 γ . De telles valeurs sont comprises entre les limites d'erreurs de la méthode.

Susceptibilité magnétique des terrains prospectés. — De si faibles variations, inférieures à 10 γ , de Δz quand on envisage des terrains aussi différents que le grès triasique vosgien et le gneiss antéhercynien, peuvent à première vue surprendre. En réalité ces deux roches ont une susceptibilité magnétique *extrêmement faible*. J'en ai fait quelques mesures sur les échantillons récoltés aux stations mêmes d'observation.

	$k \times 10^{-6}$	D
Grès vosgien rouge (station 1)	6,3 à 9,3	2,34
» autre échantillon	7,5	
» jaune (station 3)	0 à 0,5	2,36
Gneiss	(a)	5,2 à 6,5
	(b)	1,5 à 1,8
	(c) station 14	3,0
	(d)	65
		2,60

Le gneiss est très hétérogène (complexe granit-gneiss) et si les mesures de susceptibilité fournissent en général des valeurs très faibles (deux à quatre fois plus faibles que celle du grès rouge),

(1) C. ALEXANIAN. — *Loc. cit.*, C. R. A. S., t. 198, p. 1715-17, 1934.

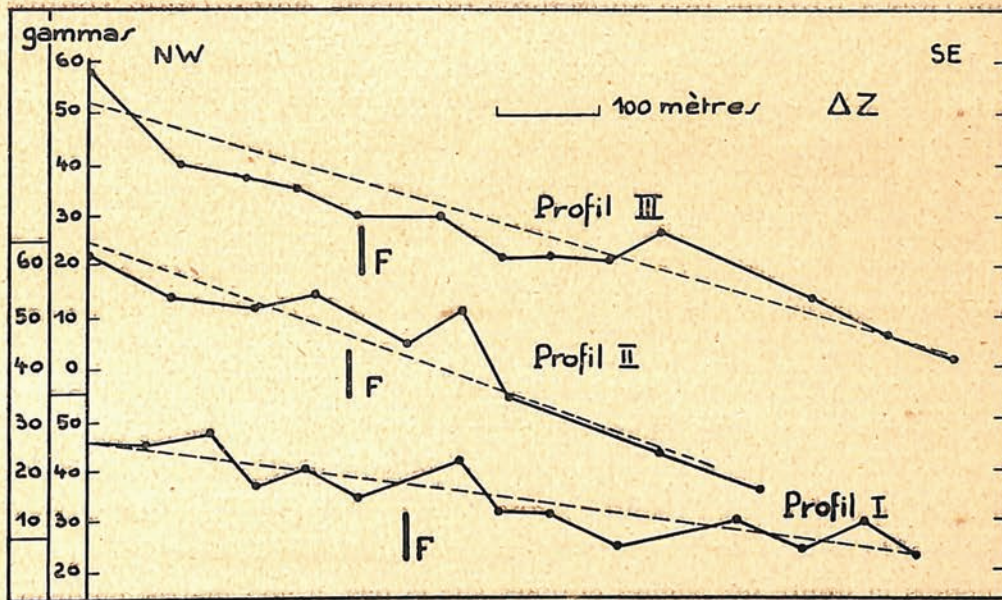


FIG. 30.

Profils magnétiques transversaux à la faille du Hochwald mettant en évidence une anomalie régionale.

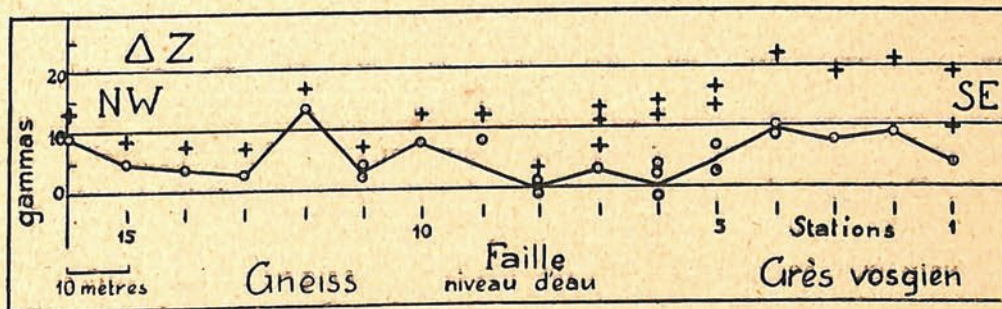


FIG. 31.

La faille vosgienne au nord de Riquewihr;

Les croix indiquent les valeurs obtenues en utilisant la courbe de variation diurne; les cercles, les valeurs définitives après corrections d'après les valeurs aux stations doubles.

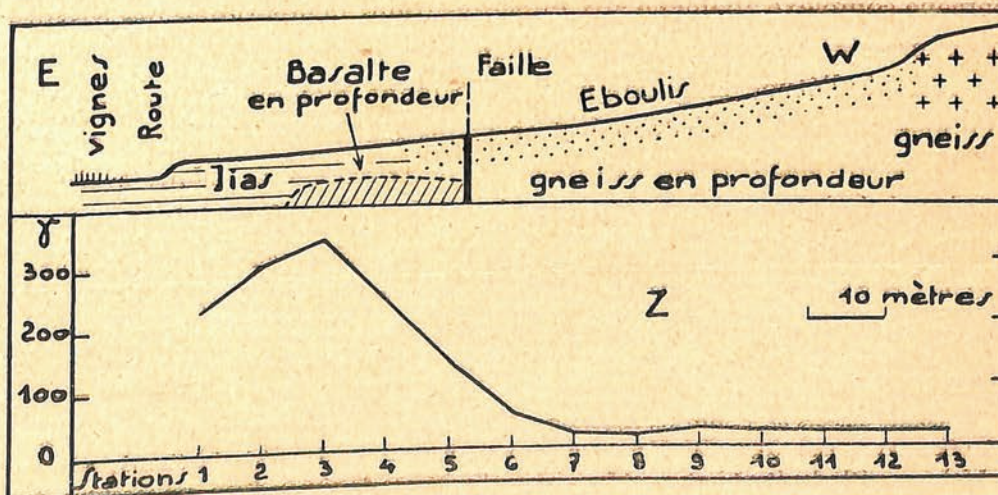


FIG. 32.

La faille vosgienne au sud de Riquewihr.

PROSPECTION MAGNÉTIQUE DE LA FAILLE VOSGIENNE

l'un des prélèvements — où la magnétite se trouvait sans doute en concentration plus forte — m'a donné un chiffre plus élevé.

D'après ces mesures on peut donc conclure que les susceptibilités qui caractérisent les échantillons, bien que différentes, sont cependant trop faibles pour qu'au passage d'une couche à l'autre on puisse retrouver la courbe théorique calculée plus haut en supposant par exemple l'un des terrains 4 fois plus magnétique que l'autre. On peut dire que cette courbe est masquée par l'imprécision relative de l'appareil : *les variations théoriques sont inférieures à la limite de l'erreur expérimentale* (1).

C) **La faille vosgienne au sud de Riquewihr.** — Au sud de Riquewihr la faille vosgienne sépare le complexe granito-gneissique du lias inférieur à gryphées : la limite entre les terrains est peu nette, masquée sous des éboulis et arènes granitiques ; l'escarpement visible de gneiss n'est pas l'escarpement de faille lui-même, et forme en réalité ce que les morphologistes appellent un *escarpement de ligne de faille*. Le profil magnétique a encore été exécuté perpendiculairement à la faille, dans la direction E-W, depuis la limite des vignes établies sur le lias, à 200 mètres environ de l'ancienne carrière de basalte, jusqu'au gneiss compact (station 13). Les stations sont équidistantes de 8 mètres et ont toutes été répétées deux fois afin d'éliminer l'influence de la température (voir plus haut, p. 15).

Stations	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Z (gammas)	225	299	340	238	141	56	20	17	26	21	17	17	17

Les premières stations se trouvent à proximité de réseaux de fils de fer : néanmoins l'étude de cette perturbation accidentelle permet de conserver ces valeurs pour l'interprétation.

On remarquera d'une part la grande constance des mesures aux stations 7 à 13 : elles correspondent au gneiss visible ou masqué par les éboulis ; on notera d'autre part la grande variation observée et dont la forme (fig. 32) se rapproche de la forme théorique calculée précédemment : cette variation dépasse 300 %. Comparée aux résultats exposés dans le paragraphe précédent, l'ampleur de cette variation ne peut s'expliquer par le simple contact lias-gneiss. Il faut admettre que, étant donnée la proximité d'une cheminée basaltique connue, *le lias s'accompagne, au contact du gneiss, d'un filon basaltique dont la montée a été favorisée par la zone de moindre résistance que constitue la faille*. Il y a là un phénomène complexe analogue aux minéralisations magnétiques des cassures qui peuvent parfois servir à déceler les failles par la méthode magnétique.

Ces trois exemples de l'étude magnétique d'un accident géologique bien caractérisé, montrent la complexité des données fournies à l'interprétation : *dans le premier cas, les mesures ont fait seulement apparaître une variation régionale indépendante de la faille elle-même ; dans le deuxième, toutes les valeurs trouvées étaient inférieures aux erreurs expérimentales ; dans le troisième enfin la variation observée est due, non pas au contact des deux terrains, mais à un phénomène local accessoire.*

Comparaisons des résultats précédents avec ceux d'autres auteurs : J. Jung et C. Alexanian (2) ont publié les résultats des mesures faites dans des conditions géologiques très analogues aux nôtres, mais

(1) Au contraire j'ai montré ailleurs (J. P. ROTHÉ, *Application de la prospection électrique à des études de failles et d'horizons d'eaux*, C. R. du 66^e Congrès des Soc. savantes, 1932, p. 543-557) qu'une prospection par une des méthodes électriques permet de déceler l'existence de la faille, l'emploi de ces méthodes étant justement favorisé par l'existence du niveau d'eau, qui constitue, dans ce cas, l'élément physique important.

(2) J. JUNG et C. ALEXANIAN. — *Contribution à l'étude des failles en prospection magnétique*, Annales de l'Office national des combustibles liquides, VI^e année, 1931, p. 711-720.

avec un appareil différent. « La faille d'Aubure, séparant les grès bigarrés du granit à muscovite du Brézouard, montre une oscillation étalée sur 200 mètres et d'une valeur de 75 gammas » (*loc. cit.*, p. 715). L'amplitude observée par ces auteurs est en contradiction avec mes résultats. L'examen des courbes publiées conduit à penser que cette différence est due probablement à l'emploi de l'appareil de Haalck. J'ai eu l'occasion de comparer sur un même profil les résultats fournis par le variomètre universel de Haalck et par la balance verticale de Schmidt : j'ai dû rejeter les valeurs fournies par le premier, incohérentes, m'indiquant en gammas des variations 5 à 10 fois supérieures à celles de la balance de Schmidt.

Les auteurs écrivent encore : « la grandeur de la perturbation, assez constante et voisine d'une centaine de gammas, n'est en relation directe ni avec la nature des terrains faillés, ni avec la grandeur du rejet ; elle est assez considérable pour masquer pratiquement l'anomalie théorique due à la différence de susceptibilité magnétique des terrains en contact » (*loc. cit.*, p. 720). A mon avis il convient de l'expliquer simplement par le fait que les variations observées sont là encore, comme dans les cas précédents, comprises à l'intérieur des limites d'erreur qu'il faut attendre de l'appareil de Haalck.

II. — ÉTUDE MAGNÉTIQUE DE L'ANTICLINAL DU PAYS DE BRAY

Introduction. — Pour étudier de quelle manière un plissement peut être l'origine d'une anomalie magnétique, j'ai choisi l'anticlinal du Pays de Bray, exemple célèbre de bombement régulier. Ce choix a été guidé par plusieurs considérations : l'anticlinal du Bray est bien connu et étudié au point de vue géologique ⁽¹⁾ ; d'autre part sa direction générale du NW au SE est celle des plis de couverture du Bassin de Paris, plis qui ont été considérés par certains auteurs comme la cause de l'anomalie magnétique du Bassin de Paris, soit directement par eux-mêmes, soit indirectement, parce qu'ils pourraient être le siège de courants telluriques, circulant suivant une direction privilégiée. Je revien- drai sur cette question au chapitre IV en étudiant en détail l'anomalie. Enfin si, dans l'ensemble, le plissement du Bray est un bombement régulier sur une grande longueur, il est néanmoins dissymétrique et sa retombée Nord se fait plus ou moins brutalement et souvent par faille. Il était donc intéressant de connaître, par des mesures de détail, les variations du champ magnétique au passage d'un tel anticlinal.

Mesures magnétiques antérieures à 1930. — En 1904, Moureaux, qui étudiait l'anomalie magnétique du Bassin de Paris, avait exécuté quelques mesures absolues dans la région de Beauvais ; ses stations étaient espacées de plusieurs kilomètres les unes des autres ; les différences observées étaient faibles et Moureaux concluait ainsi ⁽²⁾ :

« Bien que la distribution des éléments magnétiques ne soit pas absolument régulière dans les environs de Beauvais, les différences entre l'observation et le calcul ne sont particulièrement importantes pour aucune station et pour aucun élément. La faille du Pays de Bray semble n'exercer aucune action perturbatrice sur le champ magnétique dans la région étudiée et les particularités observées montrent que cette région se rattache au contraire à l'anomalie du Bassin de la Seine ».

(1) A. DE LAPPARENT. — *Le Pays de Bray*, mémoires de la carte géologique détaillée de la France, n° 1, Paris, 1879.

(2) MOUREAUX. — *Déterminations magnétiques ... pendant l'année 1904*, Annales du B. C. M., 1, 1904, p. 79, Paris, 1908.

En plus de ces mesures, réduites au 1^{er} janvier 1905, les autres données absolues comportent :

- 1^o quelques stations du réseau de 1896 (*Annales du B. C. M.*, I, 1898) ;
- 2^o les réseaux de 1896 et de 1904 réduits par Angot au 1^{er} janvier 1901 (*Annales du B. C. M.*, 1908) ;
- 3^o le réseau de 1924, qui comprend un certain nombre de stations nouvelles (*Annales, I. P. G.*, Paris, tomes VII et VIII).

Les résultats, en ce qui concerne la composante verticale, de ces différents réseaux sont portés tableau XXIV : deux colonnes sont consacrées à chaque réseau ; dans la première figurent les valeurs absolues elles-mêmes ; dans la deuxième, les différences « observation-calcul » qui définissent l'anomalie en chaque station.

TABLEAU XXIV

Mesures absolues dans le Pays de Bray.

Valeur de la composante verticale.

(toutes les valeurs sont indiquées en gammas).

Département	Station	1896,0	1905,0		1901,0		1924,0		Différence 1924-1901
		Valeurs absolues	Valeurs absolues	Observat. — Calcul.	Valeurs absolues	Observat. — Calcul.	Valeurs absolues	Observat. — Calcul.	
Eure	Charleval	42.740	—	—	42.680	+ 182	42.090	+ 300	— 590
»	Gisors	42.560	—	—	42.490	+ 56	41.760	+ 20	— 730
Oise	Auneuil	—	42.474	+ 155	42.620	+ 166	41.680	— 90	— 940
»	Beaumont	—	42.308	+ 11	42.470	+ 37	—	—	—
»	Beauvais	42.520	—	—	42.450	— 19	41.810	+ 20	— 640
»	Beauvais	—	42.429	+ 93	42.580	+ 111			— 770
»	La Boissière	—	42.275	0	42.430	+ 21	—	—	—
»	Bonvillers	—	43.388	+ 114	42.530	+ 122	—	—	—
»	La Bosse	—	42.306	— 12	42.460	+ 13	—	—	—
»	Hermes	—	42.284	— 13	42.440	+ 5	41.670	— 80	— 770
»	Méru	—	42.246	— 4	42.390	+ 3	41.630	— 70	— 760
»	Neuilly-en-Thelle	—	42.167	— 64	42.320	— 46	41.620	— 70	— 700
»	Noailles	—	42.452	+ 166	42.600	+ 178	—	—	—
»	Rochy-Condé	—	42.398	+ 77	42.570	+ 116	—	—	—
»	Saint-Léger-Bray	—	42.397	+ 67	42.530	+ 66	—	—	—
»	Saint-Martin-le-Nœud	—	42.363	+ 30	42.530	+ 64	—	—	—
»	Ully-Saint-Georges	—	42.292	+ 38	42.440	+ 47	—	—	—
»	Crevecoeur	—	—	—	—	—	41.780	— 110	—
»	Saint-Just	—	—	—	—	—	41.950	+ 140	—
»	Clermont	—	—	—	—	—	41.790	+ 20	—
Seine-Infér.	Aumale	—	—	—	—	—	42.050	+ 60	—
»	Ferrières	42.680	—	—	42.610	+ 87	41.690	— 140	— 920
»	Forges-les-Eaux	42.680	—	—	42.610	+ 17	42.130	+ 230	— 480
»	Neuchâtel	42.720	—	—	42.620	— 30	42.200	+ 240	— 420
»	Sigy	—	—	—	—	—	42.030	+ 160	—

Les chiffres de ce tableau montrent que dans la partie Est de l'anticlinal du Bray les anomalies sont faibles et négatives, pour devenir à l'Ouest fortes et positives (fig. 33, réseau de 1924). L'axe anticlinal lui-même ne semble donc bien jouer aucun rôle et les anomalies positives de la région occi-

dentale (département de Seine-Inférieure) se rattachent directement à l'anomalie du bassin de Paris (fig. 37, p. 90).

Si on compare le réseau de 1924 et celui de 1904 (réduit à 1901) on constate, dans les différences des valeurs en une même station, d'assez grands écarts — ces différences sont portées dans la dernière colonne du tableau — alors que, aux erreurs expérimentales près, on devrait trouver une différence constante, la variation séculaire étant elle-même constante pour une région de faible étendue. Ces écarts qui atteignent 500 gammas, entre Auneuil et Neufchâtel par exemple, dépassent largement les limites d'erreurs. Nous retrouverons des faits analogues dans l'étude de l'anomalie du Bassin de Paris.

Etude détaillée de l'anticlinal et de la faille du Bray par la mesure relative de la composante verticale. — L'accident géologique du Bray s'étend sur une longueur de 80 kilomètres depuis Neufchâtel (Seine-Inférieure) au Nord-Ouest jusqu'à Noailles (Oise), au Sud-Est de Beauvais. L'ensemble forme une *boutonnière* caractéristique dont la largeur dépasse 20 kilomètres un peu au nord de Gournay-en-Bray et est encore de 15 kilomètres suivant une coupe qui irait de Boschyons (Seine-Inférieure) à Songeons (Oise). Il ne saurait être question de couvrir toute la surface de l'anticlinal d'un réseau de stations qui, si l'on veut mettre en évidence des variations de détail, doivent être très rapprochées — à 100 mètres les unes des autres par exemple. Aussi l'auteur a effectué en 1930 un certain nombre de prospections limitées à des régions déterminées, les unes sur le flanc Nord, faillé, de l'anticlinal, d'autres sur son flanc Sud, plus régulier, enfin d'autres encore dans l'axe de l'accident. Ces zones de prospection sont indiquées par des lettres majuscules de A à E sur le schéma (fig. 33) ; les résultats en seront successivement étudiés plus loin.

L'appareil utilisé était la balance verticale de Schmidt n° 97106 de l'Institut de Physique du Globe de Paris ; ses constantes ont été déterminées tant à l'observatoire du Val-Joyeux que sur le terrain. On a pris pour valeur d'échelle $\varepsilon = 327$ pour les mesures effectuées en juin 1930 et $\varepsilon = 347$ pour celles d'octobre 1930. Remarquons d'ailleurs que, comme les variations observées dépassent rarement une division d'échelle, la correction provenant de cette variation d'échelle est négligeable. De même le coefficient de température, déterminé expérimentalement au Val-Joyeux, a varié de $0,15 (t - t_0)$ à $0,10 (t - t_0)$ suivant la date des mesures.

Il convient de signaler une difficulté, spéciale à la région, rencontrée au cours de la prospection : il est souvent difficile de trouver un emplacement convenable pour les stations magnétiques, le Bray étant, en raison de la nature des terrains, occupé en grande partie par des parcs à bétail généralement de surface assez faible et clôturés de poteaux et de fils de fer. La perturbation accidentelle se fait sentir à une distance d'une dizaine de mètres, souvent davantage suivant la nature des clôtures.

Voici à titre d'exemple la perturbation provoquée par une clôture en fils de fer le long de la route de Gournay à Songeons : A 10 mètres de la clôture : perturbation 0 ; à 6 mètres : — 65 gammas ; à 2 mètres : — 280 gammas.

Correction cartographique. — Comme les prospections envisagées s'étendent sur plusieurs kilomètres, et que les variations locales sont extrêmement faibles, il est nécessaire, pour mettre en évidence, s'il y a lieu, des anomalies, de corriger toutes les mesures de la variation normale de l'élément en longitude et latitude dans la région envisagée. Pour calculer cette variation, on peut utiliser les for-

mules générales de représentation du champ magnétique établies en 1924 d'après les résultats du réseau magnétique de la France entière (1).

En particulier la formule établie pour la composante verticale s'écrit :

$$Z = Z_0 + 9,34\varphi - 1,162\lambda - 0,00549\varphi^2 + 0,00366\varphi\lambda + 0,002212\lambda^2$$

où φ et λ sont les coordonnées géographiques des différents points, coordonnées exprimées en minutes à partir d'un point origine 0 pour lequel $\varphi = 47^\circ$ Nord ; $\lambda = 2^\circ$ E Greenwich.

Or on peut, en donnant à φ et λ des valeurs variant de dixième en dixième de degré par exemple, construire à une échelle donnée les courbes d'égales valeurs de Z normal de 10 en 10 gammas. J'ai dressé ainsi pour le Bassin de Paris un graphique au 1 : 200.000^e sur lequel il suffit de lire la variation moyenne par kilomètre de l'élément dans la région de prospection.

L'application de cette méthode à la prospection du pays de Bray fournit les résultats suivants :

$$\text{variation de } \Delta Z \text{ normal } \left\{ \begin{array}{l} 4,17 \text{ par kilomètre en latitude, positive vers le Nord.} \\ 0,57 \text{ par kilomètre en longitude, positive vers l'Ouest.} \end{array} \right.$$

Une fois les mesures corrigées de ces quantités, rapportées à une station de base quelconque, les anomalies résultantes tiendront tant aux perturbations locales qu'aux anomalies régionales représentées figure 33 et dont la cause est plus générale et plus profonde.

Nature et susceptibilité magnétique des roches du Pays de Bray. — Le tableau XXVI reproduit d'après la légende des différentes feuilles de la carte géologique de France au 1 : 80.000^e, la description sommaire des différents terrains visibles en affleurements, à partir des plus anciens, à savoir les marnes Kimméridgiennes. Pour un certain nombre d'entre eux, j'ai récolté sur place des échantillons dont la densité et la susceptibilité magnétique ont été mesurées par la méthode classique de la balance de Curie.

A) Mesures magnétiques sur le flanc Nord-Est de l'anticlinal du Bray. — Ces mesures ont été effectuées le long et de part et d'autre de la route nationale de Gournay-en-Bray à Marseille-en-Beauvaisis, depuis l'axe de l'anticlinal jusqu'à la couverture de craie du flanc nord. Les stations magnétiques sont espacées de 100 à 200 mètres les unes des autres, de manière à intéresser successivement les affleurements des différentes couches énumérées dans le tableau ci-dessus ; l'emplacement des stations est reporté fig. 35 ; dans chaque profil les stations sont numérotées à partir de la plus méridionale et le tableau XXV donne les différentes valeurs de la composante verticale, valeurs corrigées, comme il a été dit, de la variation de température, de la variation diurne et de la variation régionale ; ces valeurs sont rapportées à une station de base (2) choisie arbitrairement. Dans ce tableau les valeurs fortes d'une part, les valeurs faibles d'autre part, ont été encadrées.

Le tableau ci-dessous appelle les considérations suivantes (3).

1^o Lorsque les stations ont été reprises plusieurs fois, les résultats diffèrent généralement de moins de 5 à 10 gammas.

2^o Nulle part dans les cinq profils les différences maxima ne dépassent une quarantaine de

(1) Annales I. P. G., Paris, tome VIII, p. 42, 1930.

(2) La station de base est la même pour les 4 premiers profils ; le cinquième n'a pas été raccordé aux précédents.

(3) J. P. ROTHÉ. — *Interprétation géologique de mesures magnétiques dans le Bassin de Paris*, C. R. A. S., t. 191, p. 1144, 1930.

TABLEAU XXV

Profils Stations	I	II	III	IV	V
1	57 γ	(16) γ	36 γ	26 γ	(16) γ
2	53	51	61	15	32
3	44	44	42	25	30
4	49	31	70	34	33
5	43	50	63	23	29
6	42	(31)	44		28
7	55	52	53		29
8	71	59	40		33
9	50	48	40		28
10	37	48	36		23
11	40	53	33		29
12	48	51	47		32
13		40			24
14		50			26
15					21
16					30

gammas ; l'influence de l'anticlinal et des failles est donc, si elle existe, relativement très faible. On remarquera en particulier la constance des résultats suivant le profil V, qui traverse l'axe anticlinal sur plus de quatre kilomètres (de la station 2 à la station 13) ; les différences mesurées sont généralement inférieures à 5 gammas, et ne dépassent jamais 10 gammas, c'est-à-dire la limite des erreurs possibles. Cette constance tient évidemment à la grande homogénéité du sol, le profil restant sur les calcaires portlandiens.

3^o Quand on compare la coupe géologique du terrain (coupe analogue pour les 5 profils), la susceptibilité des couches rencontrées et les profils magnétiques (fig. 34), on remarque la grande analogie entre la courbe de susceptibilité magnétique et celle de Δz . On peut donc conclure que la variation des profils est uniquement due à l'influence des roches immédiatement sous-jacentes.

Si on porte ces résultats sur une carte (fig. 35) les zones s'alignent, sur trois des profils, en direction NW-SE, parallèlement aux accidents de bordure et parallèlement à la section des couches de l'anticlinal par le plan horizontal. Le maximum correspond à une bande de grès ferrugineux du néo-comien supérieur : ce sont les grès de susceptibilité 50×10^{-6} rencontrés sur la route nationale de Gournay à la Chapelle-sous-Gerberoy. Cette zone est étroite parce que les couches plongent de 30^o environ vers le nord-est. La zone de valeur plus faible correspond aux couches argileuses du crétacé moyen, couches qui forment la « dépression subséquente » à l'anticlinal, dépression que la rivière du Thérain suit jusqu'à la sortie du village d'Escames et qu'elle quitte ensuite pour pénétrer à Songeons, par surimposition, dans la craie à silex.

L'anticlinal ou la faille de bordure ne jouent donc, par eux-mêmes ou comme conducteurs privilégiés de courants telluriques, aucun rôle pour expliquer l'anomalie magnétique si faible soit-elle,

TABLEAU XXVI

Nature et susceptibilité magnétique des terrains du Pays de Bray.

Numéro de l'échantillon	Description de la couche	Épaisseur de la couche	Densité	Susceptibilité magnétique $k.10^{-6}$
1	KIMMÉRIDIEN (J ⁵) et PORTLANDIEN INFÉRIEUR (J ^{6a}). Calcaires et marnes à <i>exogyra virgula</i>	60 mètres	2,46	8,4
	Echant. de calcaire marneux noir (Route de Gournay à Songeons)..			
2	PORTLANDIEN INFÉRIEUR (J ^{6b}). Calcaire compact avec lumachelles d'huîtres.....	—	2,06	5,1
	Echant. de calcaire compact (Route de Gournay à Songeons).....			
3	PORTLANDIEN MOYEN ET SUPÉRIEUR (J ^{6c-9} et J ⁷). Alternances de marnes blanches, sables, grès et poudingues ; à la partie supérieure grès ferrugineux et siliceux.....	19 mètres		
	NÉOCOMIEN (C _{IV}). Sables blancs, grès ferrugineux et glaises feuilletées.....			
	A la partie supérieure l'étage comprend des grès ferrugineux et du minerai de fer géodique à Sorey et au Mont-rouge de Rainvillers. Au Becquet on exploite 5 mètres d'argile bleuâtre reposant sur des grès ferrugineux et des sables quartzeux.....			
4	Echant. de grès ferrugineux, au contact de marnes feuilletées rouges, 500 mètres W du carrefour de la route nationale Gournay-Songeons avec celle de Wambez-Gerberoy (Oise).....		2,80	52,0
5	Echant. de grès ferrugineux du Becquet (Oise) (reposant sur des sables blancs)		2,37	9,5
6	Grès ferrugineux, ancienne exploitation de Sorey, à Saint-Germain-la-Poterie (Oise)		2,85	196,0 ~ 2700
7	Terre ferrugineuse, Sorey. ancienne exploitation de Sorey..... BARRÉMIEN (C _{II}) et APTIEN (C _I). Argiles panachées, blanches, grisâtres.....	10 mètres		
	Echant. d'argile blanche, même point que l'échant. de grès ferrugineux n° 3 ; l'ensemble plonge de 30° vers le Nord-Est.....	15 mètres	1,68	8,1
8	ALBIEN INFÉRIEUR (C ¹). Sables gris formés de grains de quartz assez grossiers, parsemés de points noirs, dits « sables verts » aquifères, bien développés entre Gournay-en-Bray et Beauvais			
	Echant. de sables, carrière de l'Italienne de Goincourt (Oise)..... ALBIEN (C ²). Marnes d'un noir bleuâtre (gault) à fossiles pyriteux, peu développées dans la région de Gournay-en-Bray.....	30 mètres	1,6	7,0
9	CÉNOMANIEN INFÉRIEUR (C ³). Gaize : niveau très constant, marne légère poreuse, très siliceuse, assez solide, d'un blanc verdâtre.....	25 mètres		
	Echant. de gaize, Ernemont près Gournay (Seine-Infér.)		1,42	4,4
10	CÉNOMANIEN SUPÉRIEUR (C ⁴). Craie en plaquettes, craie glauconieuse. TURONIEN (C ⁶). Craie marneuse	60 mètres		
	SÉNONIEN (C ⁷). Craie blanche à <i>Micraster</i> , un peu jaunâtre, avec gros silix.....	40 mètres		
	Echant. Gerberoy (Oise)		1,96	0,2

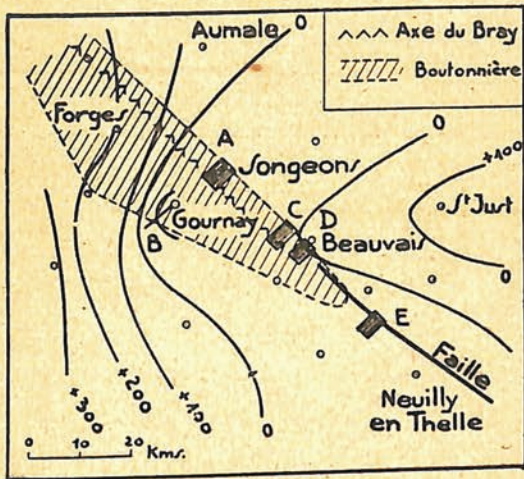


FIG. 33.

Le pays de Bray : courbes isomagnétiques de la composante verticale (1924.)
A à E : régions prospectées en 1930.

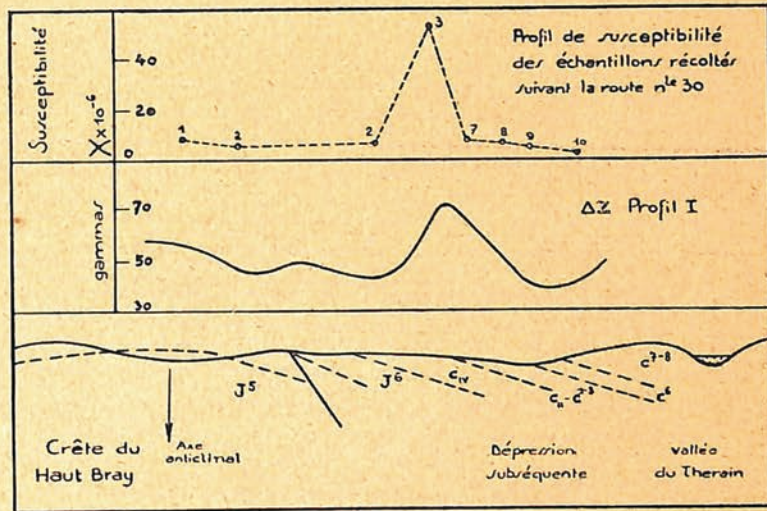


FIG. 34.

Variations de la composante verticale et de la susceptibilité magnétique et coupe géologique en travers de l'anticlinal du pays de Bray.

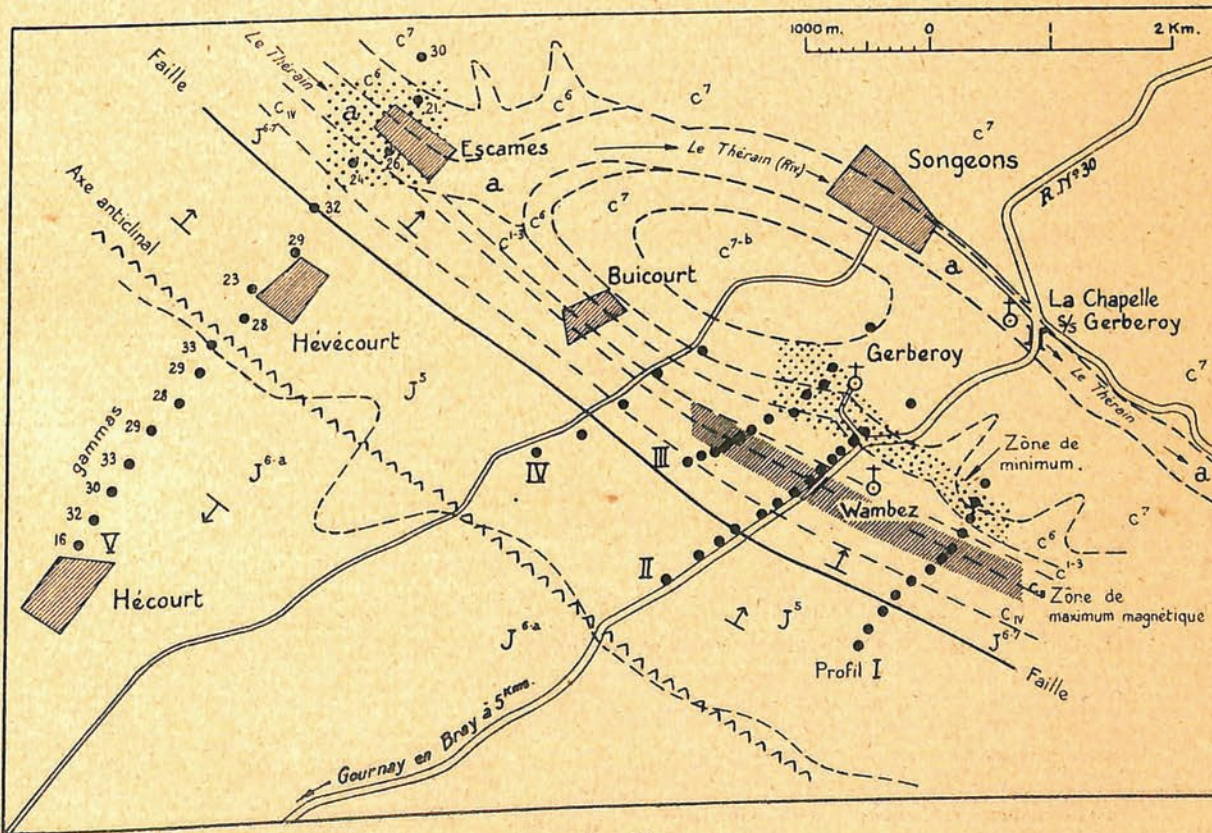


FIG. 35.

Schéma géologique de la région de Songeon et emplacement des stations magnétiques.

ÉTUDE MAGNÉTIQUE DU PAYS DE BRAY

et c'est seulement la présence en affleurement d'une couche de susceptibilité magnétique plus élevée qui provoque une perturbation de l'ordre de 30 gammas environ.

Le profil IV ne permet pas de retrouver la zone des valeurs fortes, sans doute parce que les stations sont trop espacées ; enfin la zone de valeurs faibles se retrouve indiquée dans le profil V et correspond encore aux terrains du crétacé moyen ; le néocomien supérieur, masqué en grande partie par les alluvions du Thérain, ne se traduit plus par une anomalie positive.

B) Flanc Ouest de l'anticlinal, au sud de Gournay en Bray. — Une coupe suivant la route Gournay-Boschyons en direction NE-SW recoupe les différents terrains du crétacé déjà rencontrés sur le flanc Nord. Les différences présentées par la composante verticale du champ sont moins nettes que celles exposées précédemment ; néanmoins on constate que 4 stations situées sur le néocomien (c_{IV}) ont fourni les valeurs suivantes + 46, +33, +43, +35 γ , soit une moyenne de 40 gammas, alors que 3 stations situées sur les argiles barrémiennes (c_{II}) et sur le gault (C^1) ont fourni les chiffres +20, +14, +21 γ soit une moyenne de 18 gammas, nettement inférieure à la précédente. Enfin pour une station située sur la gaize, on a trouvé la valeur +3 gammas. Cette valeur anormalement faible doit être attribuée à des perturbations accidentelles, le carnet d'observation portant : situation médiocre, clôtures et ligne électrique. La perturbation accidentelle, difficile parfois à éviter dans une région comme le Bray, dépasse, on le voit, largement l'anomalie d'ordre géologique.

C) Région axiale à l'ouest de Beauvais. — Les mesures ont été réparties dans la région de Saint-Paul et Saint-Germain-la-Poterie. Cette fois encore ce sont les stations situées sur les *argiles barrémiennes* et les *sables verts*, qui donnent les valeurs les plus faibles (+ 8 γ). Le néocomien, largement étendu dans l'axe de l'anticlinal, est de constitution assez hétérogène et les chiffres obtenus sont généralement assez faibles. Sur les « grès ferrugineux » du Becquet, la valeur de Z est seulement +12 γ ; ce résultat surprenant à première vue, s'explique aisément : la valeur est normale car la susceptibilité magnétique de ces grès est seulement $9,5 \times 10^{-6}$. Au contraire, à proximité des « grès de Sorcy » (susceptibilité $196,0 \times 10^{-6}$), une station fournit la valeur la plus élevée du réseau : 100 gammas ; comme aucune cause de perturbation accidentelle n'a été aperçue au voisinage de la station, ce maximum doit être expliqué par la forte susceptibilité de la couche sous-jacente.

On remarquera que, bien que la susceptibilité des échantillons de craie mesurés ait fourni des valeurs très faibles — on sait que la craie est employée comme substance neutre pour diluer les poudres très magnétiques étudiées à la balance de Curie — les stations situées sur les plateaux crayeux (craie glauconieuse ou craie à silex) ont en général des valeurs de Δz assez élevées (moyenne 18 γ) alors que les 7 stations autres que celles de Sorcy, situées sur le néocomien, ont fourni une moyenne de +14 γ . Toutes ces valeurs sont d'ailleurs peu différentes les unes des autres et les écarts sont à la limite des erreurs possibles.

D) Zone axiale et flanc nord-est de l'anticlinal au Sud de Beauvais (fig. 36). — La colline qui domine Beauvais au Sud est constituée par le crétacé supérieur (turonien et sénonien) ; elle forme vers le sud un escarpement qui domine une région basse ; c'est la limite du Pays de Bray. L'église isolée de Saint-Martin-le-Nœud est située sur le rebord de cette *côte* et le village de Saint-Léger en

Bray occupe à peu près le centre de la « boutonnière » dont la largeur totale est seulement, entre Auneuil et Saint-Martin-le-Nœud, de 8 kilomètres.

L'anticlinal du Bray proprement dit se termine ici périclinalement et au Sud de Frocourt les terrains néocomiens cessent d'être visibles dans l'axe de l'anticlinal.

Les résultats de la prospection magnétique sont représentés fig. 36 ; on a porté, à côté de l'em-

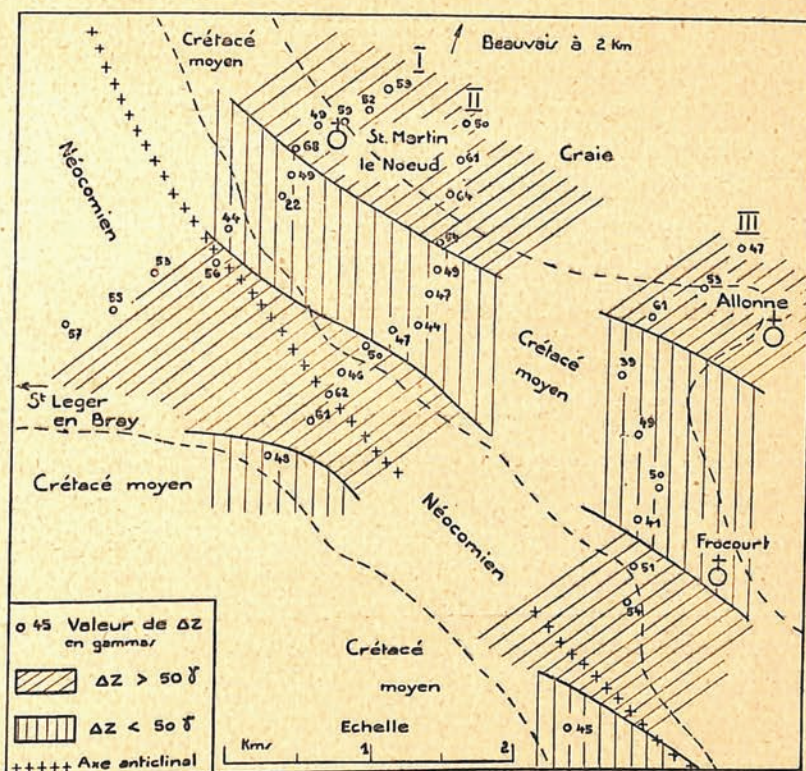


FIG. 36.

Prospection magnétique de l'anticlinal du Bray au sud de Beauvais.

placement de chaque station, la valeur en gammas de la composante verticale par rapport à une station de base arbitraire. Les mesures sont comme précédemment corrigées de la variation normale de la température et de la variation diurne de l'élément.

Cette figure schématique demande peu de commentaires. Cette fois encore, les terrains argileux qui surmontent le néocomien se traduisent par une faiblesse de la composante verticale ; le maximum qui surmontent le néocomien se traduit par une faiblesse de la composante verticale ; le maximum qui, dans les mesures précédentes, était causé par les grès ferrugineux de Sorcy, est très affaibli : ce banc, qui constitue en quelque sorte un *repère magnétique*, n'existe plus, du moins à proximité de la surface, au sud de la vallée de l'Avelon. Le rebord crayeux provoque ici encore une augmentation du champ. Plusieurs des mesures de Moureaux que j'ai signalées plus haut intéressaient cette région ; elles formaient un profil magnétique passant par Auneuil, Saint-Léger-en-Bray, Saint-Martin-le-Nœud et Beauvais. On voit, en comparant ses résultats et les miens, qu'il était impossible par des mesures absolues de mettre en évidence une anomalie quelconque, puisque l'erreur expérimentale, ainsi commise sur la valeur de la composante verticale peut atteindre une centaine de gammas, chiffre bien supérieur aux variations rencontrées. En particulier, entre les deux stations de Saint-Léger et de Saint-Martin (stations 4 et 9 du profil I), je n'ai trouvé qu'une différence de 9 gammas.

La différence plus grande (34 gammas) indiquée par Moureaux est évidemment due au faible degré de précision des mesures absolues.

E) **L'anticlinal en dehors du Bray : région de Noailles (Oise).** — Au Sud-Est de Noailles l'anticlinal du Bray n'est plus marqué que par l'existence d'une faille qui prolonge vers le SE le flanc faillé que nous avons étudié dans les paragraphes A, C et D.

A Boncourt, près de Noailles ⁽¹⁾, la craie blanche à Micraster (*c*⁷), horizontale, s'appuie contre les couches de craie marneuse (*c*⁶) inclinées à 38 degrés. Plus loin vers l'Est, vers Ully-Saint-Georges, cette faille met en contact la craie à *Belemmitelles*, qui forme encore un escarpement prolongeant la *cuesta* méridionale du Bray, et les terrains de l'éocène inférieur (sables de Bracheux et sables de Cuise). Le crétacé inférieur et moyen n'est plus visible. Les profils magnétiques effectués perpendiculairement à la faille révèlent une grande constance ; *il n'y a plus aucune anomalie* : les valeurs trouvées aux 38 stations de ce dernier réseau diffèrent toutes de moins de 10 gammas, limite de l'erreur expérimentale.

L'étude détaillée que je viens de faire du principal pli du Bassin de Paris me permet de conclure que nulle part la faille du Pays de Bray n'apporte une perturbation quelconque au champ magnétique et que c'est seulement la présence en affleurement d'une couche légèrement ferrugineuse qui révèle sur une carte magnétique, par sa direction bien définie, parallèle à l'axe anticlinal, l'anomalie géologique. Dès que cette couche repère plonge, l'anomalie magnétique disparaît.

(1) H. THOMAS. — Notice explicative de la carte géologique au 1 : 80.000^e, feuille n° 32, Beauvais, 3^e édition, 1915.

CHAPITRE IV

APPLICATION DE L'EMPLOI DU VARIOMÈTRE A L'ÉTUDE D'UNE ANOMALIE MAGNÉTIQUE RÉGIONALE

L'ANOMALIE DU BASSIN DE PARIS

Introduction. — Les grands levés magnétiques exécutés dans les différents pays au cours des cinquante dernières années ont mis en évidence de vastes anomalies régionales. Ces résultats ont généralement été obtenus par l'emploi d'appareils de campagne donnant les éléments du champ magnétique en valeur absolue. Ces levés nécessitent des opérations longues et pénibles et la collaboration d'un personnel nombreux. Au contraire une prospection rapide peut être faite en utilisant les variomètres, soigneusement étalonnés, les résultats étant rapportés à une station de base constante. Il était intéressant de comparer les résultats, en ce qui concerne seulement la composante verticale du champ magnétique, d'un levé obtenu en utilisant un variomètre avec les levés précédemment obtenus par les méthodes absolues, cette comparaison permettant, suivant le vœu formulé par Angot en 1908, sinon de « résoudre », du moins de discuter « une question du plus haut intérêt, celle de la permanence des perturbations ». Rien ne prouve en effet, ajoutait ce géophysicien, que ces perturbations ne puissent se modifier lentement dans leur forme.

M. le Doyen Maurain me proposa de reprendre l'étude de l'anomalie du Bassin de Paris, seule région de France qui avait fait l'objet, de la part de Moureaux, de mesures relativement serrées, en 1896 puis en 1904 et dont un certain nombre de stations avaient été incorporées dans le réseau magnétique français de 1924 (mesures de MM. Eblé et Brazier). Je me bornai d'abord à exécuter plusieurs profils à peu près perpendiculaires à l'anomalie afin de chercher à mettre en évidence des variations de son intensité par des mesures serrées, distantes de 2 à 3 kilomètres environ. Ces mesures me montrèrent, comme on le verra plus loin, d'une part une grande constance de la composante verticale au voisinage de l'axe de l'anomalie et d'autre part, des discordances notables dans les résultats des stations communes aux précédents réseaux magnétiques.

Ce travail, entrepris en 1930, interrompu ensuite par diverses missions, fut repris en 1935. La comparaison détaillée des mesures de 1924 et de 1896 (1904) montrait des variations très notables entre ces deux dates dans le domaine de l'anomalie intéressant les départements de Seine-Inférieure, Eure, Eure-et-Loir et Seine-et-Oise ; aussi ai-je refait en 1935 la mesure de la composante verticale dans toutes les stations du réseau de 1904 se rapportant à la portion de l'anomalie comprise entre les latitudes de $48^{\circ}30'$ et $49^{\circ}20'$, ainsi que celles de 1924 comprises dans la même région. Dans

l'espoir de comparaisons ultérieures de nouvelles stations ont été mesurées. Les pages suivantes contiendront la discussion des résultats de ces différentes mesures.

Les données géologiques du Bassin de Paris et l'anomalie magnétique. — L'anomalie magnétique du Bassin de Paris, dont seule la partie médiane sera étudiée, s'étend suivant un axe à peu près rectiligne depuis le Bourbonnais jusqu'à la Manche ; elle suit la vallée de la Loire jusqu'à Orléans puis elle est jalonnée par Dourdan, Rambouillet, Louviers, Rouen et Fécamp. En reprenant son étude, il convient de dire quelques mots de nos connaissances géologiques du Bassin de Paris.

« On sait que la caractéristique essentielle du Bassin de Paris au point de vue tectonique est d'être une zone d'ennoyage des plis hercyniens qui subissent dans cette région une *Schaarung* (ligne de rebroussement) : les plis passent de la direction armoricaine à la direction varisque en allant de l'Ouest à l'Est » (P. Lemoine) ⁽¹⁾.

Le sous-sol du centre du Bassin de Paris est très mal connu, et seuls quelques puits artésiens atteignent le gault à 600-700 mètres de profondeur. Aussi on ne sait pas comment se comportent les plis hercyniens dans la partie centrale du Bassin et l'hypothèse de Marcel Bertrand, à savoir que les plis posthumes de la couverture secondaire et tertiaire se superposaient exactement aux plis de style hercynien, n'est pas, semble-t-il, entièrement justifiée. Le sondage de Ferrières-en-Bray, placé sur un axe anticlinal, a rencontré les terrains paléozoïques (des micaschistes) à plus de 1500 mètres de profondeur, ce qui semble montrer que la ride anticlinale de surface se superpose au contraire à un synclinal profond.

Plusieurs auteurs, DE LAPPARENT, MOUREAUX, puis DUBUISSON ⁽²⁾ ont cherché si l'anomalie magnétique n'était pas en relation avec les plissements connus en surface du Bassin. DUBUISSON en particulier a essayé de démontrer que les forces perturbatrices magnétiques se trouvaient renforcées sur les dômes et les anticlinaux, affaiblies dans les aires d'ennoyage. L'étude que j'ai faite au chapitre III de l'anticlinal du Pays de Bray montre au contraire que les anomalies locales et superficielles que j'ai rencontrées n'ont pas du tout le caractère régional de la grande anomalie parisienne.

L'idée qui vient immédiatement à l'esprit est d'attribuer la cause de l'anomalie magnétique à la ligne de rebroussement des plis hercyniens, zone faible de l'écorce ayant permis la montée de magmas très ferrifères : les volcans d'Auvergne sont les jalons visibles de cette ligne au travers du Massif Central ; les gîtes diamantifères d'Afrique Australe sont un exemple célèbre de la manière dont s'alignent sur une fracture les cheminées issues de magmas profonds. On verra, plus loin, comment dans cette hypothèse il est possible de calculer l'ordre de grandeur d'un de ces batholithes. En réalité le tracé géologique de cette ligne de *schaarung* est difficile à faire : c'est une zone plus ou moins large ; sans doute est-elle jalonnée par des failles méridiennes comme celles du Sancerrois, dont le tracé se superpose exactement à l'anomalie magnétique, comme celle de la Seine, plus au Nord. Failles et plis de couverture n'expliqueraient pas l'anomalie magnétique, mais seraient, comme elle, liées à une cause plus profonde en rapport avec le substratum hercynien.

L'anomalie magnétique n'est pas limitée au bassin de Paris : elle se prolonge en Angleterre où

⁽¹⁾ P. LEMOINE. — *Considérations sur la structure d'ensemble du Bassin de Paris*, livre jubilaire de la société géologique de France, t. II, p. 481, 1930.

⁽²⁾ DUBUISSON. — *Sur l'anomalie magnétique du Bassin de Paris*, C. R. A. S., t. 168, p. 563, 1919.

Rucker et Thorpe ⁽¹⁾ signalent une crête magnétique présentant une série de bosses (« peaks ») analogues aux différents maximums de l'anomalie parisienne. Cette crête a son origine à Chichester, sur la Manche, et s'étend jusqu'à Stradford-sur-Avon par Reading et Oxford. Comme l'anomalie parisienne, elle s'efface à l'approche des terrains primaires. Reading est le point de convergence d'une deuxième crête magnétique qui se dirige vers l'ESE et par Kew atteint la Mer du Nord aux environs de Douvres. Ce tracé est particulièrement net sur la carte publiée par Naumann ⁽²⁾. C'est cette ligne de crête magnétique qui se prolonge par l'anomalie belge étudiée par Hermant ⁽³⁾ et plus récemment par Dehalu et ses collaborateurs ⁽⁴⁾. Cette anomalie orientée WNW-ESE s'étend de Nieuport à Gand et Bruxelles.

Elle présente une forme générale comparable en largeur à l'anomalie du Bassin de Paris, son maximum est également du même ordre, 400 γ . Or P. Lemoine a signalé l'analogie du rôle tectonique de la région de la Seine avec celui que joue plus au nord la région belge. L'analogie se poursuit donc dans la comparaison des anomalies magnétiques qui ont ainsi *un point de convergence situé dans le bassin de Londres*.

C'est là par conséquent qu'il faudrait chercher aussi la convergence des lignes de schaarung qui disloquent en éventail le substratum de l'ensemble hercynien.

ÉTUDE DÉTAILLÉE DE L'ANOMALIE DU BASSIN DE PARIS DANS SA PARTIE SEPTENTRIONALE, DU LOIRET A LA MANCHE

Comparaison des réseaux magnétiques de 1896 (1901) et de 1924. — Avant d'exposer les résultats de mes prospections personnelles de 1930 et de 1935, il convient de discuter ceux des réseaux magnétiques plus anciens.

En comparant les « anomalies » déduites des mesures de 1890 à 1904 réduites par Angot à la date du 1^{er} janvier 1901 et celles qui résultent des mesures du nouveau réseau de 1924, M. Eblé ⁽⁵⁾ a été amené à grouper les stations présentant une même différence entre les écarts aux deux époques et constaté que pour un certain nombre de stations ces écarts dépassent les limites d'erreurs.

Il est peut-être plus expressif de porter simplement sur une carte (fig. 37), pour chaque station, la variation séculaire de l'élément, c'est-à-dire les *différences brutes* des valeurs de la composante verticale, telles qu'elles figurent d'une part dans le réseau de 1896 ⁽⁶⁾ et d'autre part dans celui de 1924 ⁽⁷⁾.

Je me suis borné aux quatre départements de Seine-Inférieure, Eure, Eure-et-Loir, Seine-et-

⁽¹⁾ A. RUCKER et T. E. THORPE. — *A Magnetic Survey of the British Isles for the Epoch January 1, 1891*, Phil. trans. of the R. Soc., London ; Séries A ; vol. 188, 1896.

⁽²⁾ E. NAUMANN. — *Geotektonik und Erdmagnetismus*. Verhandlungen des XII. Deutschen Geographentages in Iena, 1897, p. 167.

⁽³⁾ HERMANT. — *Levé magnétique de la Belgique au 1^{er} janvier 1913*. Annales de l'Obs. Roy. de Belgique, Bruxelles, 1919.

⁽⁴⁾ M. DEHALU et M. MERKEN. — *Nouvelle carte magnétique de la Belgique*, Inst. de géodésie, université de Liège, physique du globe, fascicule 1, 1931.

E. HOGE. — *Nouvelle contribution à la carte magnétique de Belgique*, id., fasc. 2, 1934.

⁽⁵⁾ L. EBLÉ. — *Contribution à l'étude de l'anomalie magnétique du Bassin de Paris*, 64^e Congrès des Sociétés savantes, 1931, p. 266-269.

⁽⁶⁾ Annales du B. C. M., 1898, t. I.

⁽⁷⁾ E. MATHIAS et CH. MAURAIN. — *Le nouveau réseau magnétique de France*. Annales I. P. G. de Paris, t. VII, p. 1, Paris, 1929.

Oise, pour lesquels seuls les stations sont suffisamment serrées ; j'ai ajouté le département de l'Oise, déjà étudié à l'occasion de ma prospection magnétique du Pays de Bray.

Cette carte est très frappante : les courbes s'ordonnent régulièrement et font apparaître l'existence de plusieurs centres de variation, l'un dans le Pays de Bray, l'autre dans la région même de

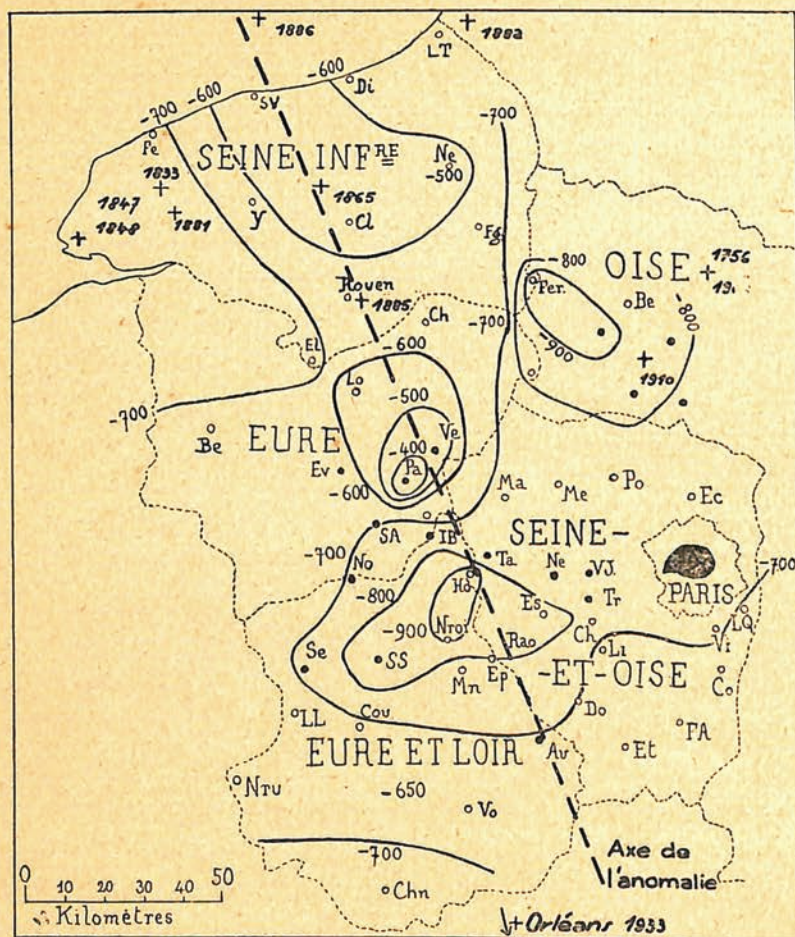


FIG. 37.

L'anomalie magnétique du bassin de Paris.

Diminution, en valeur absolue, de la composante verticale entre 1896 et 1924.

Les croix et dates indiquent les épicentres de séismes connus.

l'anomalie magnétique. C'est ainsi qu'à Pacy-sur-Eure, la composante verticale a diminué de 350 *gammas* seulement entre 1896 et 1924, tandis qu'à Houdan-Nogent-le-Roi, région située plus au Sud, la diminution dépasse 900 *gammas*.

Limite des erreurs expérimentales sur les mesures magnétiques absolues. — Entre les deux points que nous venons de citer il y a donc, dans la variation séculaire de la composante verticale, un écart de près de 600 γ . Cet écart est supérieur à la limite des erreurs expérimentales. Angot⁽¹⁾ a discuté en détail l'approximation qu'il faut attendre des résultats des mesures absolues. Il

(1) ANGOT. — *Cartes magnétiques de la France au 1^{er} janvier 1901*, Annales du B. C. M., année 1908, p. 50-54 ; Paris 1912.

admet, de l'examen de valeurs assez discordantes obtenues avec une boussole d'inclinaison, que l'incertitude sur la valeur absolue finale de l'inclinaison, réduite à une époque donnée, ne dépasse pas 5 *minutes* ; pour la composante horizontale, dans les cas défavorables où les erreurs s'ajoutent, l'incertitude finale sur la valeur absolue de H réduite à l'époque, pourra atteindre 50 *gammas*. De la formule $Z = H \operatorname{tg} I$, on tire

$$dZ = dH \times \operatorname{tg} I + H \times (1 + \operatorname{tg}^2 I) dI.$$

$\operatorname{tg} I \approx 2$ (pour I voisin de 65 degrés) ; si on pose $dH = 5 \times 10^{-4}$; $1 + \operatorname{tg}^2 I = 5$; $H = 0,2$; et si pour exprimer en minutes les variations de I, on les multiplie par la valeur de l'arc de $1'$ ($1' = 3 \times 10^{-4} \text{ rad}$), dZ sera exprimé en unités de la quatrième décimale sous la forme :

$$dZ = 2 dH + 3 dI$$

le calcul conduit donc, d'après les chiffres donnés plus haut, à la variation

$$\Delta Z = 250 \text{ gammas.}$$

Ce chiffre paraît considérable, aussi Angot ajoutait : une anomalie pourra être caractérisée par des valeurs moindres, à condition que celles-ci soient concordantes dans les stations voisines.

MATHIAS ⁽¹⁾ admet, de son côté, que les incertitudes ne sauraient dépasser 20 *gammas* sur H et 3 *minutes* sur I ; l'application de la formule précédente conduit donc à une incertitude sur Z de 130 *gammas*. C'est ce dernier chiffre qui est généralement admis. Une autre cause d'erreur peut intervenir dans le cas qui nous intéresse : on peut remarquer que les stations de Vernon et de Pacy-sur-Eure qui présentent, par rapport à 1896, une plus faible diminution de Z, ont été faites par un autre observateur opérant avec un autre appareil que les stations de Nogent-le-Roi et Houdan, qui, au contraire, présentent une forte diminution. Ainsi l'écart observé pourrait provenir de différences instrumentales passées inaperçues (correction de l'aiguille d'inclinaison, par exemple). D'après un renseignement de M. Eblé, les mesures, en dehors de l'anomalie, se sont très bien raccordées pour les régions levées par l'un ou l'autre observateur. Par ailleurs les valeurs trouvées à Nonancourt par l'un des observateurs, à Bueil par l'autre, se rangent bien dans les courbes de la figure 37. Ainsi, si les différences instrumentales peuvent constituer une légère cause d'erreur, ces erreurs seraient tout au moins constantes et ne permettraient pas d'expliquer les écarts importants observés.

Influence de la variation séculaire générale. Distribution de la variation séculaire de la composante verticale en France. — On sait que la variation séculaire des éléments magnétiques n'est pas constante sur une surface comme celle de la France. L'amplitude de cette variation, en ce qui concerne la composante verticale, est représentée fig. 38. Pour dresser cette carte j'ai utilisé une carte inédite qui m'a été obligeamment communiquée à l'Institut de Physique du Globe de Paris par M^{me} Salles. Sur cette carte figuraient les variations séculaires 1896-1924 pour toutes les stations communes aux deux réseaux de 1896 et de 1924. J'ai groupé ces résultats par départements et j'ai affecté au chef-lieu la moyenne des variations pour les différentes stations de chaque département.

Cette carte générale montre que l'axe de l'anomalie du Bassin de Paris est sensiblement parallèle aux lignes d'égalité variation. La variation séculaire est donc théoriquement constante le long de

(1) MATHIAS. — *Annales de l'Observatoire astronomique de Toulouse*, tome VII, p. 439-440, 1907.

l'axe. Par conséquent, les noyaux de variation de Houdan et de Pacy-sur-Eure, qui *s'alignent sur l'axe de l'anomalie*, ne sauraient en aucune manière s'expliquer même partiellement par la variation séculaire générale.

Dans le sens perpendiculaire à l'axe la variation séculaire se modifie en moyenne de 10 gammas

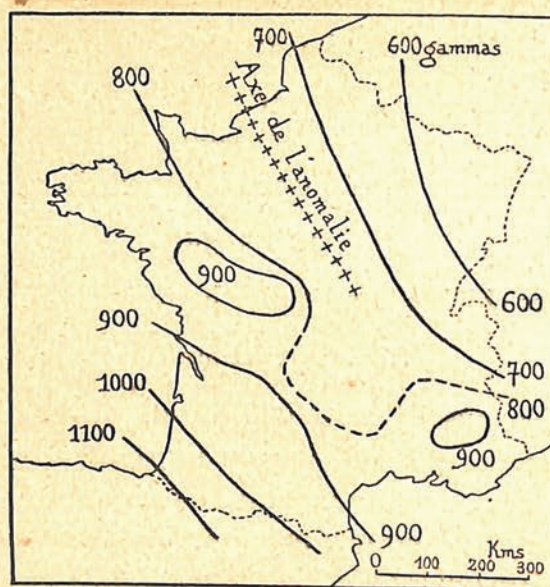


FIG. 38.

Variation séculaire de la composante verticale.
Diminution en gammas de 1896 à 1924.

environ par 20 kilomètres. L'anomalie n'intéresse qu'une bande de 50 kilomètres de largeur et l'influence, dans les différences observées, de la variation séculaire, ne saurait être que de 20 à 30 γ . Si nous admettons comme valeur moyenne de la variation 1896-1924, pour toute la région reportée sur la figure 37, le chiffre de 750 γ , Houdan présente une diminution supplémentaire de 200 γ , tandis que la station de Pacy-sur-Eure présente au contraire une augmentation de 400 γ environ.

Ainsi la variation séculaire de la composante verticale dans une région comme l'anomalie du Bassin de Paris semble bien ne pas décroître régulièrement, mais présenter des « noyaux » de variation.

Cette constatation locale semble se retrouver d'une manière plus générale. D'après la carte figure 38 la composante verticale paraît diminuer beaucoup plus rapidement dans les Alpes et dans la région de l'Indre, Vienne, Deux-Sèvres, Maine-et-Loire, que dans certaines parties du Massif Central par exemple. Une variation très faible s'observe en Côte-d'Or. J'y reviendrai plus loin.

Autres causes d'erreurs : hétérogénéité du réseau Moureaux de 1904. — Le réseau établi par Moureaux en 1904, dans la partie de l'anomalie comprise entre Louviers et Rambouillet, est malheureusement hétérogène, une partie des mesures ayant été faites en 1890, les autres en 1904. Si, comme nous venons de le voir, il est exact que la variation séculaire n'est pas constante dans le cadre de l'anomalie du Bassin de Paris, c'est-à-dire *si l'anomalie se déforme rapidement*, on ne peut appliquer une correction uniforme pour réduire les stations de 1890 à 1904. Or c'est ce qu'a fait Moureaux et lui-même s'étonnait déjà de *certaines différences* observées sur des stations communes au réseau de 1890 et de 1904 :

« A Beauvais, Evreux, Poissy et Saint-Germain, la concordance des deux séries est satisfaisante... A Auneau et à Vernon, au contraire, les déclinaisons présentent des écarts assez grands. L'hypothèse d'erreurs d'observations aussi marquées ne semble guère admissible à moins d'invoquer une inexactitude résultant du choix des stations de 1890, établies sur des chemins pouvant masquer une influence accidentelle. On peut remarquer que ces deux stations correspondent à des situations particulières au point de vue géologique. Auneau se trouve sur une faille rectiligne très importante orientée Sud-Nord vers Nogent-le-Roi ; et la présence simultanée d'un anticlinal et d'une grande faille à Vernon y détermine un sous-sol de composition variable en des points très voisins, ainsi qu'en témoignent plusieurs forages exécutés en divers quartiers de la ville ⁽¹⁾ ».

Ainsi cet excellent observateur essayait de trouver des explications par la géologie de surface à des différences qui l'étonnaient. Auneau et Vernon sont d'ailleurs situés sur les bords de la région de grande variation (fig. 37) et il est probable que si Moureaux avait, en 1904, refait la station de Houdan levée en 1890, il y aurait trouvé des différences encore plus grandes.

Par conséquent la carte dressée par Moureaux au 1^{er} janvier 1905, et qui nous servira à discuter les résultats de 1935, est nécessairement en partie inexacte, puisque confrontant des valeurs obtenues à des dates très différentes.

Variation éculaire des autres éléments du champ magnétique entre 1896 et 1924. — La composante verticale n'est pas le seul élément du champ à présenter des écarts sensibles entre les deux réseaux de 1896 et de 1924. En ce qui concerne la déclinaison, on constate que entre ces deux dates cet élément a diminué de

3°23'6	en moyenne pour le département de Seine-et-Oise,
3°23'2	d'Eure-et-Loir,
3°23'0	de Seine-Inférieure,
3°23'0	de l'Eure.

et seulement de 3°19'1 pour une zone qui comprend les principales stations de l'anomalie entre Bueil et Auneau (Bueil, Houdan, Tacoignières, Neauphles, Epernon, Rambouillet, Auneau, Dourdan).

Les variations de la composante horizontale du champ sont moins nettes comme on doit s'y attendre d'ailleurs ; néanmoins si on note une diminution de 126 γ à Auneau entre 1896 et 1924, de 60 γ seulement à Fécamp, cette diminution dépasse au contraire 200 γ en de nombreuses stations de part et d'autre de l'anomalie, et atteint 340 γ à Mantes. On voit ici encore que ces différences dépassent de beaucoup la limite des erreurs expérimentales (20 à 30 γ pour H).

Résultats résumés du réseau levé en 1930

Les mesures de Moureaux mettaient en évidence l'existence de deux maximums de la composante verticale, l'un à Bréval (+ 480 γ par rapport au Val-Joyeux), l'autre à Rambouillet (+ 230 γ).

J'exécutais en 1930 une première série de mesures, au total 75 stations réparties dans le polygone Marchezais, Houdan, Val-Joyeux, Trappes, Epernon, Marchezais, afin d'étudier dans le détail

(1) TH. MOUREAUX. — *Déterminations magnétiques faites dans la région de l'anomalie du Bassin de Paris pendant l'année 1904*, B. C. M., année 1904, A, p. 68, Paris.

le maximum découvert par Moureaux à Rambouillet. J'utilisais le variomètre vertical de Schmidt n° 97106 ; les stations furent réparties sur plusieurs profils orientés SW-NE, c'est-à-dire sensiblement perpendiculaires à l'axe de l'anomalie. Immédiatement ces mesures me montrèrent que en accord avec les résultats du réseau de 1924 l'anomalie s'était, par rapport à 1904, considérablement affaiblie dans la région de Rambouillet : la composante verticale ne dépassait à Rambouillet sa valeur au Val-Joyeux que de 90 %, au lieu de 230 en 1904 et de 110 en 1924.

Toutes les valeurs trouvées ont été corrigées de la variation régionale du champ. J'ai utilisé un graphique au 1:200.000^e, sur lequel ont été reportés avec exactitude les points du réseau ma-

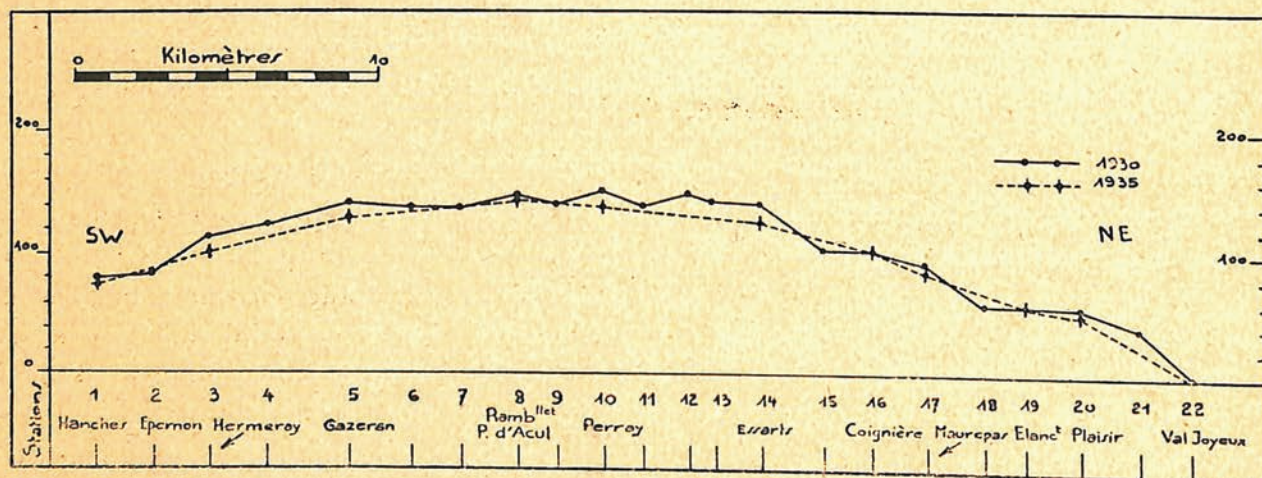


FIG. 39.

Profils magnétiques (composante verticale : 1930 et 1935) d'Epernon au Val-Joyeux en travers de l'anomalie du bassin de Paris.

gnétique d'après la carte du Service Géographique de l'Armée (feuilles Rouen, Chartres, Paris, Melun). Sur le même graphique ont été tracées de la manière qui a été exposée plus haut (p. 80) les courbes de 10 en 10 gammas d'égale valeur de Z normal. La valeur normale en chacun des points du réseau peut être interpolée avec la précision d'un gamma.

Ce procédé est plus rapide que celui qui consiste à effectuer les calculs complets pour chaque station lorsque le nombre des stations est particulièrement grand dans une région donnée.

Les profils ainsi construits établissent que sur une vingtaine de kilomètres de largeur le champ magnétique se montrait très constant, l'anomalie se présentant comme un vaste « plateau » où les écarts mesurés ne dépassent pas 15 gammas, c'est-à-dire 10 % de la valeur totale de l'anomalie. J'ai représenté figure 39 le profil magnétique obtenu entre Epernon et le Val-Joyeux, profil pour lequel les raccords des différentes journées de mesure se sont effectués avec une précision de quelques gammas, ce qui permet d'affirmer que l'erreur commise sur ces stations ne dépasse pas 10 %. Les valeurs indiquées sont rapportées à la base du Val-Joyeux ($Z = 0$) et sont corrigées de la variation régionale. Ce sont donc bien les anomalies du champ vertical par rapport au Val-Joyeux. La forme de la courbe obtenue est dans son ensemble assez régulière malgré le grand nombre de stations du profil (22 au total). Ce profil passe un peu au nord du maximum de Rambouillet, qui lui-même était difficile à étudier en raison des maisons, chemins de fer, etc... qui occupent son centre. Il semble que la courbe ne soit pas tout à fait symétrique mais que la « crête » de l'anomalie soit située davantage vers le

Nord-Est ; la « pente » de la courbe paraît également plus forte du côté Est, entre les Essarts et le Val-Joyeux.

Sur ce même graphique, j'ai porté, à l'aplomb des stations dont les noms figurent au bas du profil, les valeurs correspondantes de la composante verticale mesurées en 1935 (ces valeurs figurent dans le tableau XXVII). On constate que l'affaiblissement du maximum semble se poursuivre entre 1930 et 1935, les anomalies de la composante verticale présentant entre ces deux dates une diminution générale qui atteint 10 à 15 gammas, soit 10 % de sa valeur maximum.

Hypothèse d'une masse perturbatrice magnétique origine de l'anomalie : Essai d'évaluation. —

La forme du profil précédent, régulière et aplatie, s'étendant sur une quarantaine de kilomètres de largeur, conduit à penser que l'origine de la perturbation est certainement profonde. C'est la règle de Hotchkiss (1) qui peut s'énoncer ainsi : plus la masse perturbatrice est profonde, plus l'anomalie est faible, et plus les isanomales sont largement espacées.

J'éliminerai l'hypothèse de courants telluriques comme cause de l'anomalie. Cette hypothèse a été envisagée par plusieurs auteurs (2), mais mes mesures de détail sur le grand accident du Pays de Bray m'ont montré l'inexistence de perturbations dues à des courants favorisés par des lignes de contact de couches, et on ne se représente pas comment des courants circulant dans le sol pourraient être assez intenses pour expliquer des maximums comme ceux de Rambouillet ou de Bréval. Dès lors, dans l'hypothèse où la perturbation serait due à l'existence en profondeur d'une masse magnétique quelconque, on peut chercher à calculer approximativement cette profondeur. Les calculs de prospection géophysique ne peuvent évidemment fournir qu'un ordre de grandeur. Königsberger (*loc. cit.*) a entrepris de tels calculs en développant une théorie de l'induction du champ magnétique terrestre sur des masses magnétiques de forme géométrique supposées enfouies à des profondeurs diverses. Il en a déduit une méthode qui permet de déterminer la profondeur inconnue des masses perturbatrices par l'examen des profils magnétiques, et il a appliqué cette méthode à un certain nombre de cas pratiques.

Königsberger cite l'exemple d'une anomalie magnétique en Saxe. Au nord de Dobeln se trouve un maximum de 150 γ . La diminution de la composante verticale est à peu près semblable vers le Nord-Ouest, et vers le Sud-Est et l'on peut mesurer sur la carte isanomale les valeurs suivantes :

$$dm = 10 \text{ kilomètres} ; \quad dh = 3,5 \text{ kilomètres} ; \quad dv = 2 \text{ kilomètres}$$

où dm désigne la distance du maximum M au point où l'anomalie a pour valeur $\frac{M}{2}$.

dh désigne la distance du point $\frac{M}{2}$ au point où l'anomalie a pour valeur $\frac{M}{4}$.

dv désigne la distance du point $\frac{M}{4}$ au point où l'anomalie a pour valeur $\frac{M}{10}$.

Une règle approchée permet de dire que la profondeur du centre de la masse magnétique pertur-

(1) KÖNIGSBERGER. — *Zur Deutung der Karten magnetischer Isanomalien und Profile*, G. B., vol. XIX, 1928, p. 241-292.

Un résumé de la théorie de Königsberger est exposé dans :

H. REICH. — *Angewandte Geophysik für Bergleute und Geologen*, Ak. Verl. ges., Leipzig, 1933.

(2) E. NAUMANN. — *Die Erscheinungen des Erdmagnetismus, in ihrer Abhängigkeit vom Bau der Erdrinde*, Stuttgart, 1887.

bante est approximativement le triple de la distance $d\nu$. Une détermination plus exacte de la profondeur est possible en formant les rapports

$$g_1 = \frac{dm}{dh}, \quad g_2 = \frac{dh}{d\nu}$$

et en comparant les valeurs expérimentales de ces rapports caractéristiques, qui dépendent de la forme et de la profondeur de la masse perturbatrice, avec les valeurs théoriques qui figurent dans les tableaux établis par le calcul sur des formes simples. Dans le cas cité, l'anomalie s'explique bien par l'existence d'une masse basique à une profondeur de 6 à 7 kilomètres, masse en forme d'ellipsoïde allongé ; d'après l'intensité de l'anomalie (150 γ), le calcul montre que k (susceptibilité magnétique) doit être d'environ 10^{-3} , c'est-à-dire correspondre à la susceptibilité des roches qu'on rencontre ordinairement dans les massifs éruptifs. Un autre exemple cité par Königsberger est celui de l'anomalie magnétique de Belgique dont j'ai dit quelques mots plus haut.

Cette anomalie comprend en réalité deux lignes de crêtes parallèles dont l'une joint Gand à Bruxelles et, comme l'anomalie du Bassin de Paris, elle se poursuit dans le Bassin de Londres. Königsberger a encore considéré l'anomalie Gand-Bruxelles, dont le maximum atteint 400 γ , comme un ellipsoïde et il a relevé les valeurs suivantes sur les isanomales

$$dm = 5 \text{ kilomètres}; \quad dh = 2,5 \text{ kilomètres}; \quad d\nu = 2,0 \text{ kilomètres}$$

$$g_1 = 2; \quad g_2 = 1,2.$$

Il en conclut que le point central de la masse perturbatrice se trouve à environ 6 kilomètres de profondeur, et possède une susceptibilité de $k = 10^{-2}$ c'est-à-dire correspondant à des roches fortement magnétiques. En outre le minimum important observé indique un plongement vers le sud.

Si l'on considère pour le calcul l'anomalie de Rambouillet comme formant un tout, indépendant du reste de l'anomalie du Bassin de Paris, on sera frappé par l'analogie qui existe entre les anomalies décrites ci-dessus, en particulier entre celle de Dobeln et celle de Rambouillet, telle qu'elle apparaît sur le profil (fig. 39).

En effet nous pouvons sur les profils de 1930 et de 1935 lire les valeurs caractéristiques définies plus haut :

	dm	dh	$d\nu$	g_1	g_2
1930.....	15	3,2	1,8	4,7	1,8
1935.....	15	4,3	2,0	3,5	2,1

le tableau établi par Königsberger (*loc. cit.*, p. 264) permet de déduire de la valeur de ces paramètres la profondeur de l'anomalie.

Dans le cas d'un ellipsoïde de révolution à axe vertical on a :

$$\begin{array}{l} \text{Direction Est :} \quad g_1 = 3,9; \quad g_2 = 1,8 \\ \text{Direction Nord :} \quad g_1 = 4,5; \quad g_2 = 1,9 \quad \text{avec} \quad d\nu = 0,35 h. \end{array}$$

D'où l'on tire :

$$h = 5 \text{ kilomètres environ.}$$

Le calcul conduit donc, comme ordre de grandeur, à une profondeur de 5 kilomètres pour le centre de la masse magnétique origine de l'anomalie de Rambouillet.

J'ai supposé dans le calcul précédent que l'anomalie était nulle au Val-Joyeux. En réalité les

mesures absolues de Moureaux (Val-Joyeux, — 47 gammas), celles de 1924 (Trappes, — 20 gammas) semblent indiquer l'existence d'une région de *faible anomalie négative* dans la région du Val-Joyeux. Or l'application des formules de Königsberger prévoit, par l'effet de l'induction du champ terrestre, l'existence d'un minimum négatif qui entoure la zone positive et dont la valeur la plus forte peut atteindre le tiers de la valeur maxima positive. Si n est la distance du centre de l'anomalie positive au minimum négatif, le calcul théorique appliqué à l'ellipsoïde envisagé ci-dessus conduit à

$$\frac{n}{h} = 5 \quad (\text{tableau, } loc. cit., p. 264).$$

En faisant $h = 5$, on trouve $n = 25$ kilomètres : c'est bien l'ordre de grandeur de la distance de Trappes-Val-Joyeux à Rambouillet.

Ce dernier résultat confirme donc l'hypothèse envisagée.

Réseau magnétique de 1935

Les mesures précédentes montrant des variations importantes de l'anomalie surtout dans les régions de maximums découverts par Moureaux, j'ai repris en 1935 la mesure en valeur relative de la composante verticale du champ dans toutes les stations du réseau Moureaux de 1904, en le complétant dans certaines régions par des stations éloignées le plus possible de toute ligne électrique, chemin de fer, maisons, etc... ; 91 stations ont été levées, couvrant une superficie totale de 5.500 kilomètres carrés, soit une station pour 60 kilomètres carrés environ ; parmi ces 91 stations, 46 sont des stations nouvelles, les autres sont communes soit au réseau de 1904, soit à celui de 1924, et le plus généralement aux deux à la fois.

Exécution du levé.

Le travail a été mené en utilisant deux variomètres de Schmidt ayant les caractéristiques suivantes :

I. Appareil Askania 98 586	II. Appareil Askania 97 106
Lamelles aimantées, 311 et 349	Lamelles aimantées, 141 et 142

Valeur d'échelle

La valeur d'échelle a été déterminée en utilisant une bobine d'Helmholtz.

18.3.1935	$\varepsilon = 24,8$	18.3.1935	$\varepsilon = 39,6$
8.4.1935	$\varepsilon = 24,4$	8.4.1935	$\varepsilon = 39,4$
10.5.1935	$\varepsilon = 25,2$		

Moments des Aimants auxiliaires employés

Déterminés par la méthode électrique.

18.3.1935	Aimant 0117	$M' = 78,8 \text{ gauss-cm}^3$	18.3.1935	Aimant 3129	$M' = 222 \text{ gauss-cm}^3$
8.4.1935		$M' = 76,4 \text{ gauss-cm}^3$			
10.5.1935		$M' = 79,0 \text{ gauss-cm}^3$			

Coefficient de température

$$A = 0$$

$$A = 0,10 (t - t_0).$$

TABLEAU XXVII

Réseau de 1935

Stations	Coordonnées		Z mesuré 1935		Valeurs normales 1935	Anomalies		
	Latitude	Longitude E Greenwich	Appareil I	Appareil II		1935	1924	1904
Gisors I	49°17'4	1°47'7	288 γ	282 γ	228 γ	+ 60 γ	+ 20 γ	—
Gisors II	» 16'8	1°45'7	292	—	223	+ 69	—	—
Gamaches	» 15'3	1°36'4	262	—	227	+ 35	—	—
Port Morin	» 14'3	1°23'2	352	352	218	+ 134	+ 360	—
Louviers	» 13'5	1°11'0	377	366	220	+ 157	+ 310	—
Munneville	» 12'5	1°58'0	216	217	185	+ 31	—	—
Courcelles	» 11'4	1°22'0	340	—	197	+ 143	—	—
Fontaine-Bellanger	» 10'7	1°14'8	348	—	196	+ 152	—	—
Venon	» 10'4	1°03'2	374	—	200	+ 174	—	—
Magny I	» 9'3	1°47'7	220	—	166	+ 54	+ 130	—
Tilly (Eure)	» 9'0	1°32'5	269	—	171	+ 98	—	—
Magny II	» 8'9	1°47'7	218	—	162	+ 56	—	—
Le Neubourg	» 9'2	0°55'1	293	293	196	+ 97	+ 290	—
La Croix-Saint-Leufroy	» 7'0	1°14'5	342	334	167	+ 175	—	+ 122 γ
Champenard (Beauchesne)	» 6'8	1°20'6	318	—	162	+ 156	—	—
Chaussy	» 6'2	1°40'8	234	—	144	+ 90	—	—
Emalleville	» 6'0	1°10'1	311	309	162	+ 149	—	—
Us	» 5'7	1°56'6	192	176	131	+ 61	—	—
Vernon	» 5'0	1°27'4	278	—	143	+ 135	+ 340	+ 18
Reuilly	» 4'2	1°13'8	325	—	144	+ 181	—	—
Vernon (Normandie)	» 3'8	1°28'3	278	272	131	+ 147	—	+ 51
Houlbec	» 3'4	1°22'2	278	—	133	+ 145	—	—
Jambville	» 3'0	1°50'4	160	162	114	+ 46	—	— 9
Berville	» 1'9	0°54'8	183	—	141	+ 42	—	—
Bonnières	» 1'8	1°34'3	248	256	113	+ 135	—	+ 184
Chauffour	» 1'3	1°29'3	278	—	113	+ 165	—	—
Miserey	» 0'9	1°15'3	264	—	118	+ 146	—	—
Pacy-sur-Eure	» 0'7	1°23'5	264	260	111	+ 153	+ 470	+ 60
La Madeleine (Evreux)	» 0'3	1°08'6	222	229	120	+ 102	+ 220	+ 75
Rosny	48°59'8	1°37'1	250	244	97	+ 153	—	+ 149
La Bonneville	» 59'5	1°01'4	206	212	118	+ 88	—	+ 131
Mantes	» 59'0	1°41'2	202	—	89	+ 113	+ 110	+ 140
Bouafles	» 58'6	1°53'7	143	—	79	+ 64	—	—
Flins	» 58'5	1°52'7	126	—	79	+ 47	—	—
Prey	» 58'0	1°13'4	223	226	98	+ 125	—	+ 106
Magnanville	» 57'6	1°40'5	216	—	78	+ 138	—	—
Conches	» 57'0	0°57'5	148	—	99	+ 49	- 20	—
Villiers	» 56'8	1°29'6	264	—	76	+ 188	—	—
Bréval	» 56'6	1°32'7	270	270	74	+ 196	—	+ 379
Boinville	» 56'1	1°45'8	159	159	60	+ 99	—	—
Bueil	» 55'9	1°26'7	223	226	71	+ 152	+ 330	+ 180
Le Tertre Saint-Denis	» 55'7	1°36'4	248	244	66	+ 182	—	—
Maule	» 54'7	1°51'6	121	116	48	+ 73	—	+ 90
Saint-André (Eure)	» 54'1	1°15'9	183	172	65	+ 118	+ 150	+ 93
Septeuil	» 53'6	1°41'7	196	192	44	+ 152	—	+ 84
Ivry	» 53'2	1°27'2	191	180	51	+ 140	+ 120	+ 171
Tilly Seine-et-Oise)	» 52'8	1°34'1	226	224	43	+ 183	—	+ 175

TABLEAU XXVII (suite)

Stations	Coordonnées		Z mesuré 1935		Valeurs normales 1935	Anomalies		
	Latitude	Longitude E Greenwich	Appareil I	Appareil II		1935	1924	1904
Damville	48°52'6	1°05'2	102 γ	—	61 γ	+ 41 γ	+ 80 γ	—
Ezy	» 52'3	1°24'7	184	184 γ	44	+ 140	—	+ 246 γ
Berchères	» 50'5	1°32'8	196	188	25	+ 171	—	+ 172
Tacoignières	» 50'1	1°39'6	164	164	17	+ 147	+ 90	+ 88
Val-Joyeux	» 49'3	2°00'9	0	0	0	0	0	0
Neauphles-Château	» 48'8	1°52'3	98	100	0	+ 98	+ 210?	+ 141
Neauphles-Vieux	» 48'4	1°52'3	104	—	— 3	+ 107	—	—
Millemont	» 48'1	1°43'7	131	—	0	+ 131	—	—
Bazainville I	» 48'0	1°39'8	146	—	+ 1	+ 145	—	—
Bazainville II	» 48'0	1°41'4	141	—	0	+ 141	—	—
La Queue-Yvelines	» 48'0	1°47'1	117	—	— 4	+ 121	—	—
Houdan	» 47'9	1°35'4	173	164	+ 3	+ 170	+ 40	+ 227
Plaisir (Gâtines)	» 47'9	1°57'7	43	—	— 9	+ 52	—	—
Mareil	» 47'8	1°51'6	114	—	— 9	+ 123	—	—
Méré	» 47'6	1°48'8	117	—	— 8	+ 125	—	—
Elancourt	» 46'9	1°57'6	42	44	— 17	+ 59	—	—
Nonancourt	» 46'6	1°11'5	67	70	+ 9	+ 60	+ 120	+ 121
Marchezais	» 46'5	1°30'5	149	148	— 6	+ 155	—	+ 186
Trappes	» 46'4	2°00'6	— 25	—	— 23	— 2	— 20	+ 8
Maurepas	» 45'7	1°55'8	59	—	— 27	+ 86	—	—
Coignières	» 45'2	1°54'6	70	—	— 33	+ 103	—	—
Condé	» 44'7	1°39'7	125	122	— 26	+ 148	—	+ 160
Etang de Hollande	» 44'0	1°47'8	109	—	— 36	+ 145	—	—
Dreux	» 43'9	1°22'7	37	35	— 24	+ 59	+ 30	— 53
Saint-Léger-Yvelines	» 43'4	1°45'5	101	108	— 40	+ 141	—	+ 151
Les Essarts	» 43'4	1°52'7	83	81	— 44	+ 127	+ 80	+ 207
Chevreuse	» 32'2	2°02'4	— 27	— 14	— 59	+ 32	0	+ 47
Faverolles	» 41'7	1°35'0	77	—	— 49	+ 126	—	—
Le Perray	» 41'0	1°49'6	77	—	— 62	+ 139	—	—
Poigny	» 40'5	1°43'9	79	—	— 62	+ 141	—	—
Rambouillet (Porte d'Acul)	» 40'3	1°47'5	77	86	— 67	+ 144	—	—
Cernay	» 40'0	1°58'1	22	—	— 77	+ 99	—	—
Nogent-le-Roi	» 39'3	1°32'8	10	13	— 67	+ 77	— 40	+ 107
Gazeran	» 38'8	1°43'7	53	—	— 78	+ 131	—	—
Rambouillet	» 38'5	1°50'3	71	70	— 84	+ 155	+ 190	+ 310
Limours	» 38'3	2°03'9	— 48	— 45	— 94	+ 46	+ 110	+ 57
Hermeray	» 37'8	1°40'4	21	—	— 81	+ 102	—	—
Clairefontaine	» 37'5	1°53'4	63	63	— 93	+ 156	—	—
Epernon	» 36'4	1°41'2	14	23	— 96	+ 110	+ 90	+ 160
Hanches	» 36'3	1°38'5	— 19	—	— 94	+ 75	—	—
Rochefort-en-Yvelines	» 25'7	1°57'2	26	—	— 109	+ 135	—	—
Maintenon	» 34'7	1°33'9	— 55	— 52	— 104	+ 49	+ 100	+ 107
Sonchamp	» 34'6	1°49'7	39	—	— 116	+ 155	—	—
Dourdan	» 32'3	2°00'9	— 2	14	— 139	+ 137	+ 150	+ 127

Les corrections de variation diurne étaient fournies par les enregistrements de l'observatoire du Val-Joyeux situé à la limite orientale de la région étudiée ; les différentes stations étaient rapportées chaque jour à une station de base, généralement le Val-Joyeux, l'emploi de l'automobile

permettant de faire chaque jour en campagne 8 stations et de revenir presque tous les jours à l'observatoire.

Comparaison des résultats obtenus avec les deux variomètres. — 46 stations du réseau ont été exécutées en faisant des mesures successivement avec les deux appareils préalablement réglés et placés à une trentaine de mètres l'un de l'autre. Les deux mesures sont donc à peu près simultanées. On trouvera dans le tableau XXVII, les valeurs relatives par rapport à la station du Val-Joyeux prise comme zéro obtenues par les deux appareils. Dans 28 stations la différence entre les valeurs obtenues par les deux appareils est inférieure à 5 gammas ; dans 13 autres stations, cette différence est comprise entre 5 et 10 gammas ; dans cinq seulement elle est supérieure à 10 gammas.

Ces écarts faibles sont satisfaisants, étant donnée l'importance des corrections apportées surtout aux mesures fournies par l'appareil non compensé pour l'effet de température et bien que les valeurs d'échelle des appareils employés soient fort différentes. La figure 40 représente les courbes d'égalité de composante verticale en valeur relative par rapport au Val-Joyeux. Ces courbes de 50 en 50 gammas s'emboîtent les unes dans les autres et ne montrent à première vue aucun des maximums nets que faisaient ressortir les cartes publiées par Moureaux. A titre de comparaison la carte (fig. 41) représente les courbes de 100 en 100 gammas d'égalité de composante verticale en valeur absolue pour 1924, la valeur au Val-Joyeux au 1^{er} janvier 1924 soit $Z = 41.500 \gamma$ étant posée = 0 pour que cette carte soit directement comparable à la précédente. Enfin la carte (fig. 42) représente de la même façon (en posant $Z = 42017 \gamma = 0$) le réseau des mesures absolues de 1904.

Calcul des anomalies. — Afin de tracer d'une manière exacte l'anomalie magnétique, il est nécessaire, comme nous l'avons fait jusqu'ici, de corriger les valeurs du tableau XXVII de la variation régionale de la composante verticale. En effet les courbes de la figure 40 présentent en réalité des inflexions, plus ou moins marquées vers le Sud, et on doit s'attendre au seul examen de ces courbes à voir réapparaître certains des maximums découverts par Moureaux.

Pour calculer les valeurs normales de 1936, on peut employer deux méthodes :

1^o Utiliser les formules en I et H extrapolées jusqu'en 1941 ⁽¹⁾.

Ces formules s'écrivent sous la forme générale

$$a + b\varphi + c\lambda + d\varphi^2 + e\varphi\lambda + f\lambda^2$$

et les coefficients a, b, \dots, f ont été extrapolés pour 1941. On calculera séparément I_{1936} et H_{1936} et on en déduira Z_{1936} .

Or on constate d'après les mesures absolues faites au Val-Joyeux que les termes a des formules ont suivi depuis 1924 une marche différente de celle que fournissait l'extrapolation. Les formules ne sont donc plus utilisables intégralement.

2^o Calculer d'abord, pour les différents points, la valeur normale de Z pour 1924 à partir de la formule générale de représentation :

$$Z = 40548 + 9,340\varphi - 1,162\lambda - 0,005499\varphi^2 + 0,003666\varphi\lambda + 0,002212\lambda^2$$

(1) Annales I. P. G. Paris, tome IX, p. 92-93.

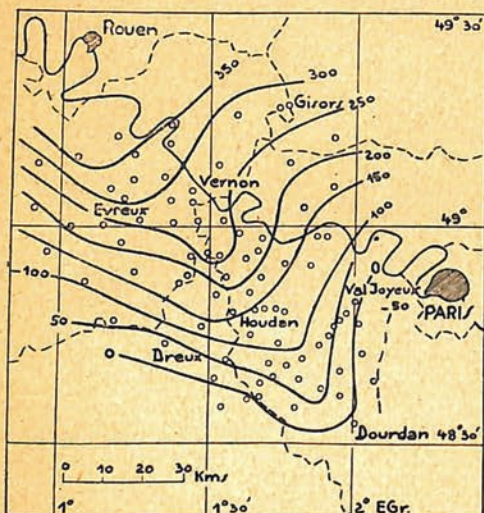


FIG. 40.

Réseau 1935.

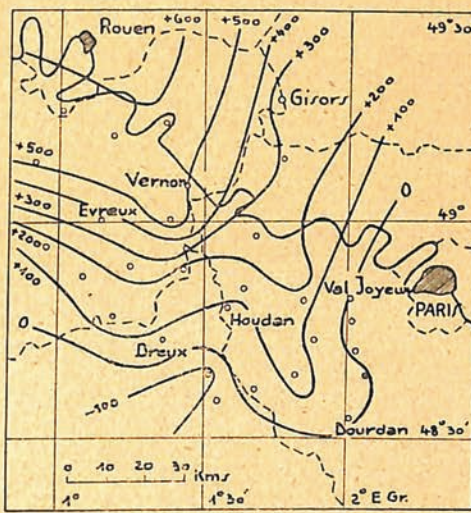


FIG. 41.

Réseau 1924.

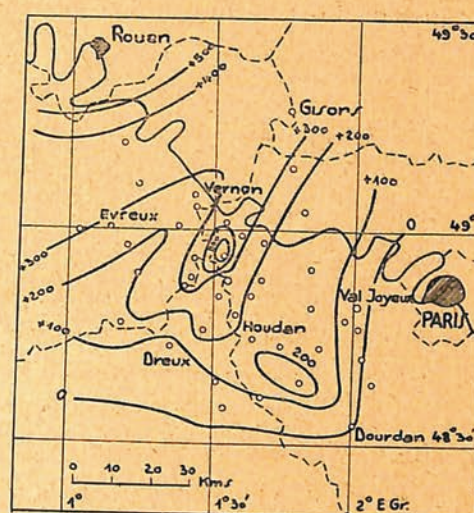


FIG. 42.

Réseau 1904.

Valeurs relatives de la composante verticale par rapport au Val Joyeux.

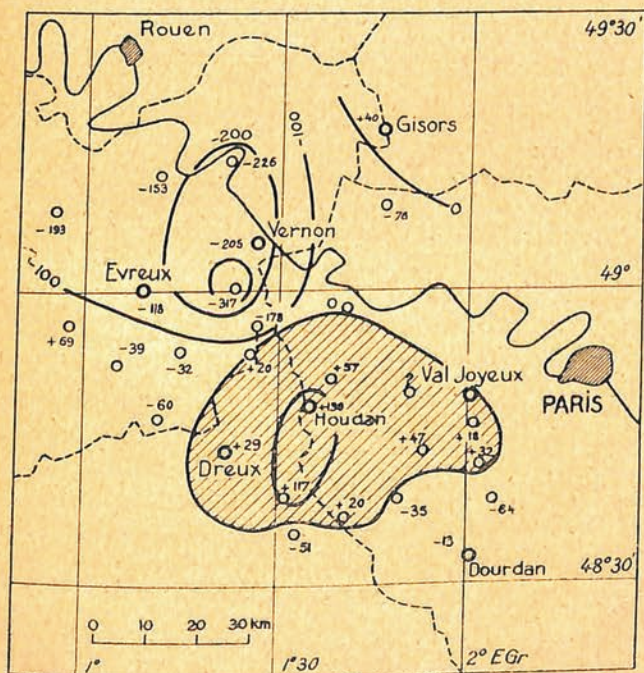


FIG. 43.

1935-1924.

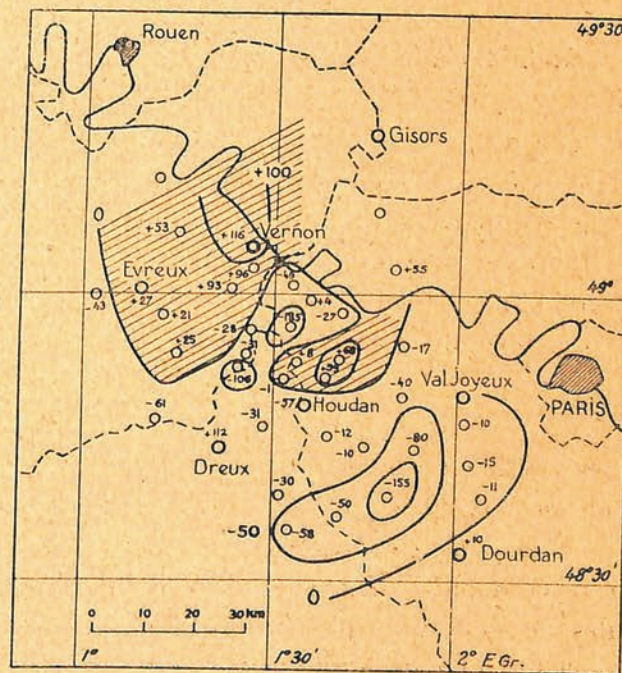


FIG. 44.

1935-1904.

Isopores de la composante verticale.

VARIATIONS DE L'ANOMALIE MAGNÉTIQUE DU BASSIN DE PARIS

où Z est en gammas, φ et λ en minutes par rapport au point

$$\varphi = 47^{\circ}\text{N}; \quad \lambda = + 2^{\circ}\text{E Greenwich.}$$

On utilisera, pour éviter le calcul, le graphique qui m'a déjà servi pour corriger le réseau de 1930, graphique sur lequel toutes les stations de 1935 auront été reportées. Ensuite on devra ajouter un terme qui permette de passer à 1936. Ce terme doit comprendre une partie constante : variation séculaire de 1924 à 1936, et un terme variable dépendant des coordonnées géographiques de la station et représentant la déformation de la variation séculaire en longitude et latitude.

La partie constante de la variation séculaire ne peut pas être connue à cause du changement de la marche des éléments depuis 1924 (terme a de la formule générale). Quant au terme variable on peut le calculer de la manière suivante. On peut admettre que les coefficients b, c, d, e, f de la formule sont mieux connus que le coefficient a , et on peut par suite chercher comment la variation séculaire s'est modifiée autour du Val-Joyeux entre 1924 et 1936. On calculera donc

$$H_{1936} - H_{1924} \quad \text{et} \quad I_{1936} - I_{1924}$$

en utilisant les formules en I et H extrapolées et en négligeant dans ces formules le terme a :

On aura donc :

$$\begin{aligned} H_{1924} &= \dots - 46,6\varphi + 5,0\lambda + 0,13\varphi^2 + 0,03\varphi\lambda - 0,07\lambda^2 \\ H_{1936} &= \dots - 48,6\varphi + 3,7\lambda + 0,03\varphi^2 + 0,13\varphi\lambda - 0,05\lambda^2 \\ I_{1924} &= \dots + 50,8\varphi - 5,8\lambda - 0,99\varphi^2 + 0,41\varphi\lambda + 0,23\lambda^2 \\ I_{1936} &= \dots + 53,0\varphi - 4,5\lambda - 1,12\varphi^2 + 0,45\varphi\lambda + 0,27\lambda^2 \end{aligned}$$

Pour étudier cette variation séculaire autour du Val-Joyeux on fera le changement de coordonnées suivant, φ et λ étant exprimés en degrés :

$$\varphi = (\varphi + 1,81); \quad \lambda = \lambda + 0,01$$

(coordonnées du Val-Joyeux $48^{\circ},8$ Nord, $2^{\circ},01$ Est).

Les formules deviennent :

$$\begin{aligned} H_{1936} &= \dots - 48,6\varphi + 3,7\lambda + 0,06 \times 1,81\varphi + \dots \\ H_{1924} &= \dots - 46,6\varphi + 5,0\lambda + 0,26 \times 1,81\varphi + \dots \\ I_{1936} &= \dots + 50,8\varphi - 1,98\varphi \times 1,81 - 5,8\lambda + 0,41 \times 1,81\lambda + \dots \\ I_{1924} &= \dots + 53,0\varphi - 2,24\varphi \times 1,81 - 4,5\lambda + 0,45 \times 1,81\lambda. \end{aligned}$$

D'où

$$\begin{cases} \Delta H = - 2,36\varphi - 1,3\lambda \\ \Delta I = 1,73\varphi + 1,37\lambda \end{cases}$$

Or on peut écrire (voir plus haut p. 91)

$$\Delta Z = 2\Delta H + 3\Delta I \quad (\Delta Z \text{ étant exprimé en } 10^{-4} \text{ gauss}).$$

On a par conséquent :

$$\Delta Z = 0,5\varphi + 1,5\lambda.$$

On voit que cette variation est négligeable en latitude et qu'elle est d'environ 15 gammas par degré de longitude, λ étant compté positivement pour les longitudes Est du Val-Joyeux.

Les valeurs normales, ainsi calculées et corrigées pour 1936, figurent dans le tableau XXVII;

la colonne suivante contient la valeur des *anomalies* aux différentes stations du réseau 1935 (différences des deux colonnes précédentes).

Les anomalies de la composante verticale 1936 sont représentées (fig. 45). On y voit réapparaître affaiblis les maximums trouvés par Moureaux en 1904 à Rambouillet et à Bréval. En outre la région de Louviers présente également un maximum. L'anomalie se présente donc comme un

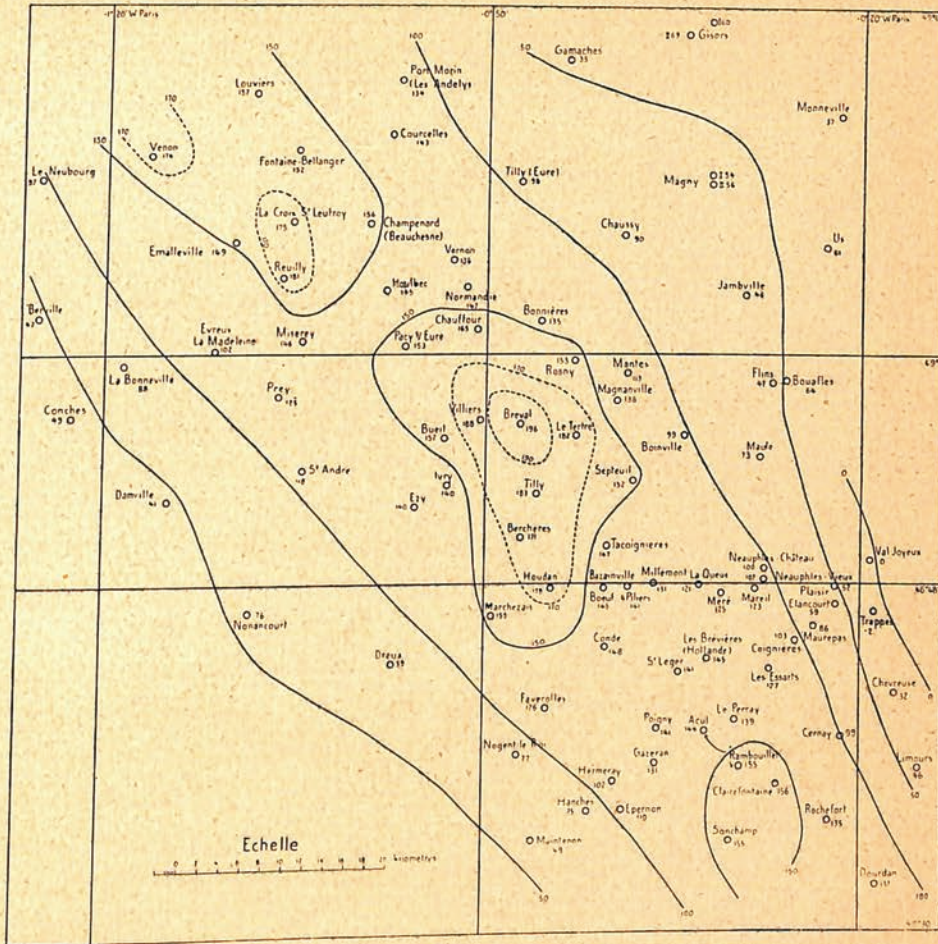


FIG. 45.

Emplacement des stations du réseau 1935 et anomalies en gammas de la composante verticale.
(lire Houdan, 170 ; Nonancourt, 60)

vaste plateau à bords relativement raides, la ligne de crête étant marquée par un certain nombre de « bosses », les « peaks » de Rücker et Thorpe. La largeur de l'anomalie augmente notablement vers le Nord, où sa partie occidentale n'a pas été englobée dans le levé. Cet élargissement, sans que l'intensité augmente, signifie que la cause de la perturbation devient plus profonde. J'ai représenté (fig. 39 p. 94) l'allure du profil Epernon Val-Joyeux et j'ai dit les conclusions qu'on pouvait en tirer. Il convient de remarquer que c'est justement vers le Nord que le socle paléozoïque doit se rapprocher de la surface, ce qui montrerait que l'anomalie n'est pas en relation avec la surface supérieure de ce socle.

Comparaison du réseau 1935 et des réseaux antérieurs.

1° Avec le réseau 1924.

Pour chaque station on forme les différences entre les anomalies calculées en 1935 et en 1924, et on les porte sur la carte (fig. 43) (carte dite d'« isopores »). On est immédiatement frappé par l'importance relativement grande de ces écarts : 7 écarts négatifs, 2 écarts positifs dépassent 100 γ , et dépassent par conséquent la limite des erreurs expérimentales. D'autre part *les valeurs ne s'ordonnent pas au hasard* (1). Toutes les valeurs positives sauf une se rangent à l'intérieur d'une courbe fermée avec un maximum à Houdan + 130 γ et Nogent-le-Roi + 117 γ . Toutes les valeurs négatives s'ordonnent de même autour d'un centre (Pacy-sur-Eure — 317 γ). L'anomalie a donc depuis 1924 eu tendance à s'affaiblir dans la région de Pacy-sur-Eure-Louviers et au contraire à se renforcer dans la région de Houdan, c'est-à-dire exactement l'inverse de ce que j'avais signalé plus haut entre 1904 et 1924.

2° Avec le réseau 1904.

Les considérations précédentes pourraient faire penser que le réseau de 1935 donne des résultats comparables à celui de 1904 et que peut-être les différences observées 1904-1924 étudiées au début de ce chapitre et 1935-1924 auraient pour origine des erreurs expérimentales dans le réseau 1924. La figure 44 est une carte d'isopores 1935-1904. Les différences sont évidemment moins nettes que sur la carte précédente. Elles ne dépassent 100 gammas qu'en quatre points.

Vernon, + 116 γ ; Rambouillet — 155 γ ; Bréval — 183 γ ; Ezy, — 106 γ . Mais cette fois encore les valeurs se rangent autour de plusieurs centres de variation. Si l'on admet l'hypothèse, justifiée par la discussion précédente, *d'une modification permanente de l'anomalie*, on constate qu'un noyau de variation positif s'est déplacé vers le nord entre 1904 et 1924 ; et que, au contraire, un noyau de baisse occupait de 1924 à 1935 la région nord, tandis qu'un noyau de hausse se retrouvait au sud. Ce double phénomène explique que la carte d'isopores 1935-1904 soit moins simple que les deux cartes 1924-1904 et 1935-1924. Il importe de remarquer que *les écarts les plus forts*, observés entre 1924-1904 et entre 1935-1924, *s'alignent sur l'axe même de l'anomalie : les modifications que montre la composante verticale du champ magnétique apparaissent donc bien liées à l'anomalie elle-même et les données précédentes obligent à conclure à une déformation permanente de l'anomalie*. Cette déformation est-elle périodique ? on ne saurait le dire encore.

La distribution irrégulière de la variation séculaire du champ magnétique qui vient d'être mise ainsi en évidence à l'échelle du Bassin de Paris, Fisk (2) l'a mentionnée à l'échelle du globe, en attirant l'attention sur le fait que les cartes « isopériques » mondiales ou cartes d'égale variation

(1) FRÉCHET et HALBWACHS. — *Le calcul des probabilités à la portée de tous*, Paris, 1924, p. 42, citent l'exemple classique suivant : une urne contient b boules blanches et n boules noires. On en tire à la fois q boules ; quelle est la probabilité pour que ces q boules soient blanches ? On trouve :

$$x = \frac{b}{b+n} \times \frac{b-1}{b+n-1} \times \frac{b-2}{b+n-2} \dots \times \frac{b-q+1}{b+n-q+1}$$

Si nous supposons 18 nombres représentant des anomalies dont 9 positives et 9 négatives réparties dans 2 rectangles égaux, quelle est la probabilité pour que par le jeu du hasard les 9 chiffres positifs se placent dans l'un des rectangles, et les 9 négatifs dans l'autre ? C'est le problème posé par la carte (fig. 43) si nous supposons toutes les valeurs dues à des erreurs quelconques.

On trouve :

$$x = 1 : 200.000.$$

(2) H. FISK. — *The unsymmetrical distribution of magnetic secular variation*, Terrestrial magnetism, Vol. 37, 1932, p. 235-240.

annuelle montrent qu'une grande partie de la variation séculaire totale est concentrée à l'intérieur de quelques aires restreintes. Les centres de ces aires ou « foyers isopériques » sont entourés par des ovales concentriques d'autant plus serrées qu'elles sont proches de ces foyers, disposition analogue à celle que je viens de décrire. Ces centres de forte variation se trouvent dans l'hémisphère continental, ce fait étant, pense Fleming, en relation avec les propriétés de la croûte terrestre (mouvements de la croûte ou ajustements subcrustaux). Fisk estime que ce qu'on appelle la variation séculaire présente un tel caractère dissymétrique qu'il n'y a pas là un phénomène simple dû à une cause unique, mais plutôt une combinaison de plusieurs causes, *des variations régionales dues à des modifications de la croûte terrestre se superposant à la véritable variation séculaire générale d'origine solaire ou cosmique.*

Les tremblements de terre du Bassin de Paris et l'anomalie magnétique. — Le calcul nous a amené à « mettre en place » pour expliquer l'anomalie du Bassin de Paris, un magma batholithique, mais l'hypothèse générale d'une déformation crustale, à laquelle conduit l'analyse de la variation séculaire irrégulière du champ magnétique, nous oblige à admettre que ce magma, ou tout au moins sa partie la plus profonde, n'est pas stable dans sa forme ou dans ses propriétés physiques, et nous pouvons nous demander si cette instabilité se manifeste par des phénomènes sensibles comme les tremblements de terre.

Depuis qu'un certain nombre de stations sismologiques ont été munies de pendules à grande masse (sismographes de 20 tonnes De Quervain-Piccard), il est possible de faire l'étude microsismique des tremblements de terre rapprochés. Cette étude a amené les sismologues à penser que les hypocentres des séismes sont souvent relativement profonds (20 à 40 kilomètres environ) et intéressent non pas les couches voisines du sol, mais sans doute la croûte terrestre elle-même. Ainsi anomalies magnétiques régionales et séismes ont sans doute leur origine dans la même zone de l'écorce, et il convient de rechercher s'il existe des relations entre les anomalies magnétiques *ou leurs modifications* et les séismes observés ⁽¹⁾. Y. Kato ⁽²⁾ a discuté sur de nombreux exemples les relations entre l'activité sismique et les changements survenus dans le champ magnétique terrestre, et il a conclu qu'il y avait entre eux un rapport étroit. Par exemple la comparaison des réseaux de 1883 et de 1893, dans la région touchée par le séisme de Mino-Owari, a donné les résultats suivants : les perturbations s'étendent sur 200 à 300 kilomètres et l'écart maximum sur la déclinaison atteint 8 minutes ; pour l'inclinaison les perturbations se répartissent en deux zones avec 2 pôles l'un positif où l'inclinaison a augmenté de 9'3, l'autre au contraire négatif où l'inclinaison a diminué de 8'7.

La carte (fig. 46) représente les écarts, rapportés à une station de base, observés sur la composante verticale entre les deux réseaux de 1895 et de 1912, dans la région ébranlée par le séisme de Susaka (1897). On voit que les écarts imputables à ce séisme se répartissent autour de 2 pôles distants d'environ 60 kilomètres, l'un positif avec + 595 γ , l'autre négatif avec — 377 γ .

L'auteur japonais en accord avec d'autres sismologues voit dans les séismes la manifestation

⁽¹⁾ Une bibliographie de cette question a été donnée récemment par A. DINCA SAMURACAS, *Relations entre les tremblements de terre et les troubles du champ magnétique terrestre*, thèse, Strasbourg, 1935.

⁽²⁾ Yoso KATO. — *Séismic and Volcanic Activities and Changes in the Earth's magnetic field*, Japanese Journal of Astronomy and Geophysics, Vol. X, p. 249, 1933 ; Vol. XII, p. 1-25, 1934 ; Vol. XIII, p. 237-243, 1935.

de mouvements ou de soulèvements de magmas. Or ces mouvements doivent provoquer des variations non seulement de pression dans la croûte terrestre, mais encore de températures.

D'après Hopkinson, l'intensité d'aimantation du fer augmente rapidement au voisinage du point de Curie vers 750 degrés dans un champ faible analogue à celui de la terre. L'expérience montre aussi que sur le fer, et le résultat est sans doute applicable à la magnétite, l'effet de pression dans un champ faible est important. Les propriétés magnétiques de magmas se déplaçant dans un champ faible doivent donc se modifier.

Kato n'indique pas d'ailleurs l'ordre de grandeur de la profondeur à laquelle doivent se produire ces déplacements.

On sera frappé de l'analogie du phénomène observé à Susaka par exemple avec ce que nous avons décrit sur l'axe de l'anomalie du Bassin de Paris ; l'ampleur des écarts est à peu près moitié dans ce deuxième cas, la distance des pôles de variation est très semblable. Comme cette répartition suggère l'idée d'un déplacement de noyau, ou tout au moins, pour reprendre l'idée de Kato d'une modification des propriétés physiques du magma, origine de l'anomalie, j'ai cherché si les séismes observés dans le bassin de Paris pouvaient être une manifestation, affaiblie sans doute, de ce déplacement.

J'avais eu en octobre 1933 l'attention attirée par le séisme qui s'était produit le 3 octobre dans l'Orléanais. L'épicentre, à proximité de Jargeau (Loiret), à 20 kilomètres à l'ESE d'Orléans, se trouvait justement sur l'axe de l'anomalie magnétique ⁽¹⁾.

Son étude a montré, d'après J. Lacoste ⁽²⁾, qu'en utilisant les tables de MOHOROVICIC dressées pour une profondeur de 25 kilomètres, la concordance des différentes heures assignées comme origine à ce séisme d'après les inscriptions de Neuchâtel, Strasbourg et Paris, était la meilleure. *Cette valeur fixe donc un ordre de grandeur quant à la profondeur de la cause du séisme.* Cette secousse fut ressentie non seulement aux environs de l'épicentre, mais elle a été également signalée en différents points, tels que l'Isle-sur-Serein (Yonne) Cormeilles-en-Parisis, Paris, les Andelys. Ce dernier point, qui se trouve à plus de 150 kilomètres de l'épicentre, s'aligne sur l'axe de l'anomalie magnétique.

Les séismes du Bassin de Paris antérieurs à 1912 ont été étudiés en détail par P. Lemoine ⁽³⁾. Malheureusement les documents dont on pouvait disposer pour une telle étude, avant que ne fonctionne le Bureau central séismologique français, étaient de valeurs diverses. Les villes fournissent des renseignements plus fréquents que les campagnes ; faute d'appareils enregistreurs il est souvent impossible de déterminer l'épicentre et souvent les séismes signalés ne sont que la répercussion lointaine de secousses ayant une origine étrangère au Bassin de Paris. Néanmoins l'examen des cartes publiées par Lemoine montre que, à l'Est de Paris, dans l'Est et le Nord de l'Île-de-France, en Champagne et en Lorraine, on ne connaît aucun épicentre de séisme (sauf une secousse locale et douteuse à Vitry-le-François en 1829). Cette vaste région est aussi, remarquons-le, une région calme au point de vue de la répartition du champ magnétique ; les écarts entre les valeurs du réseau Moureaux et celles du réseau de 1924 y sont généralement faibles.

⁽¹⁾ J. LACOSTE et J.-P. ROTHÉ. — *Les tremblements de terre en France de 1930 à 1933*, C. R. A. S., page 305-307, t. 199, 1934.

⁽²⁾ J. LACOSTE. — *Les tremblements de terre en France en 1933*, Annuaire I. P. G., Strasbourg, 2^e partie, séismologie, p. 100-101. Mende, 1934.

⁽³⁾ P. LEMOINE. — *Les tremblements de terre du Bassin de Paris*, Bulletin de la Société géologique de France, 4^e série, t. XI, p. 341, 1911.

Au contraire un certain nombre de séismes ont leur épïcentre dans la région axiale de l'anomalie magnétique. Nous citerons d'après Lemoine :

1769 : Secousse signalée à Dieppe, Rouen, Elbeuf et environs de Paris.

1782 : Fécamp.

1833 : Environs de Goderville (Seine-Inférieure).

1835 : Yvetot (Seine-Inférieure).

1845 : Yvetot, Maromme, Bacqueville (Seine-Inférieure).

1848 : Le Havre.

1855 : Le Havre, Sainte-Adresse.

1868 : Environs de Paris, Meudon.

1881 : Bréauté, faille de Fécamp.

1882 : Eu.

1885 : 16 août : la secousse est ressentie aux environs d'Orléans et, comme celle de 1933 citée plus haut, elle est également ressentie aux environs de Paris.

20 novembre : Rouen.

1886 : En Manche vers $50^{\circ}10'$ N. et $0^{\circ}40'$ E. Gr. : Lemoine avait noté que ce point se trouvait sur le prolongement de l'axe anticlinal du Bray.

On remarquera aussi bien que ces 3 dernières secousses s'alignent parfaitement sur l'axe de l'anomalie magnétique.

En outre Lemoine signale deux secousses dans le département de l'Oise, en 1908 au Sud de Breteuil et en 1910 aux environs de Noailles, Boncourt, La Boissière ; cette dernière secousse a son épïcentre sur la faille du Pays de Bray exactement au point où je l'ai étudiée par une prospection magnétique de détail (voir E, p. 86). Or cette région montre d'assez grosses différences entre les valeurs du réseau Moureaux et celles du réseau de 1924 (fig. 37, p. 90).

Toutefois on fera observer qu'à l'encontre de l'argumentation précédente la région même que j'ai étudiée entre Louviers et Rambouillet n'a jamais été signalée comme séismique. En particulier depuis 1904 il semble bien qu'aucune secousse n'y ait eu son épïcentre. Pour les époques plus anciennes, il est possible que les secousses n'aient pas été signalées, les villes et observateurs scientifiques de cette région étant rares.

Autre exemple d'une variation séculaire irrégulière du champ : l'anomalie magnétique de Bourgogne. — La zone axiale de l'anomalie du Bassin de Paris n'est pas un exemple isolé d'une variation séculaire irrégulière. La carte de la composante verticale dressée en 1924 fait apparaître dans la région du plateau de Langres une anomalie importante qui s'étend entre Langres et Saulieu. Orientée WSW-ENE, elle n'est pas visible sur la carte de déclinaison. P. Lemoine ⁽¹⁾, puis J. Jung ⁽²⁾ ont interprété cette anomalie en lui donnant pour origine un batholithe granitique formant en profondeur un pont entre le Morvan et les Vosges ; le pointement granitique de Blaisy-Bas en serait un témoin. La zone de minimums qui borde l'anomalie vers le nord-ouest s'explique, dans cette

⁽¹⁾ P. LEMOINE. — *Loc. cit.*, Livre Jubilaire de la S. G. F., 1930, p. 497.

⁽²⁾ J. JUNG. — *La géologie profonde de la France d'après le nouveau réseau magnétique et les mesures de pesanteur*, Annales I. P. G., Paris, t. XI, p. 119-162, 1933.

hypothèse, par un effet d'induction par suite du plongement vers le SE de la masse perturbante.

Or cette anomalie n'avait pas été signalée par Moureaux. Si l'on admet que les valeurs indiquées tant en 1896 qu'en 1924 ne sont pas entachées d'erreurs, leur comparaison fournit cette fois encore des résultats intéressants qui sont représentés sur la figure ci-jointe (fig. 47) : les différences brutes de la composante verticale en 1896 et en 1924 se rangent en 3 zones qui comprennent :

1^o Une zone où la composante verticale a peu diminué : ce sont les stations de Saulieu (— 360 γ) ; Semur (— 450 γ) ; Langres (— 370 γ) ; Dijon (— 470 γ) ; Is-sur-Tille (— 200 γ).

2^o Une zone Nord où la composante a, au contraire, fortement diminué : Auxerre (— 840 γ) ; Tonnerre (— 720 γ) ; Avallon (— 830 γ) ; Chatillon-sur-Seine (— 840 γ).

3^o Une zone Sud où de même la composante verticale a diminué notablement : Beaune (— 720 γ) ; Châlon-sur-Saône (— 720 γ) ; Tournus (— 760 γ).

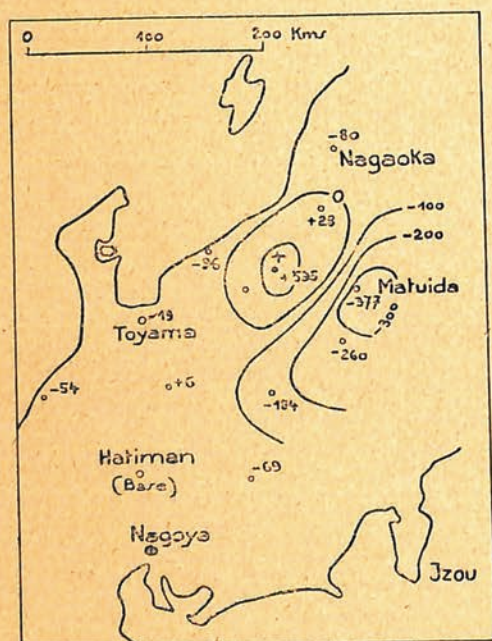


FIG. 46.

Variations en gammas de la composante verticale au Japon entre 1912 et 1895, imputables au séisme de Susaka (1897), d'après KATO.

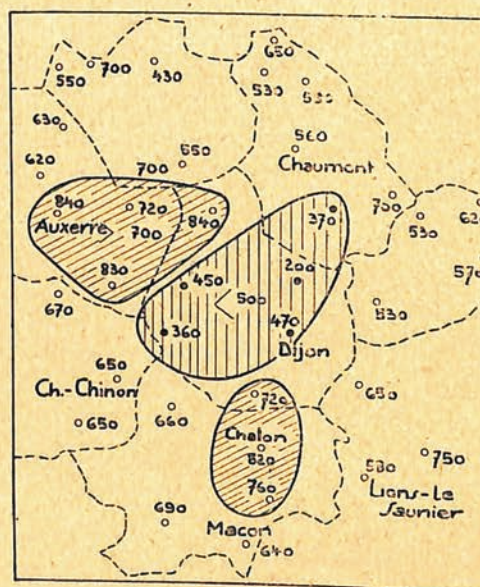


FIG. 47.

Anomalie de Bourgogne.
Diminution en gammas de la composante verticale entre 1896 et 1924.

Enfin, pour les vingt-deux autres stations qui figurent sur la carte, la diminution est comprise entre — 500 et — 700 gammas.

Il semble bien que ces différences, comme celles que nous avons notées dans le Bassin de Paris, soient réelles. Les mêmes questions se posent de savoir si des erreurs expérimentales expliquent des écarts qui atteignent 600 gammas, 300 de part et d'autre de la moyenne ? Le réseau a été levé par plusieurs observateurs différents et une partie des erreurs expérimentales peut être imputée au raccord des différentes séries d'observations. Cependant les valeurs se groupent d'une manière qui semble échapper au hasard et indépendamment des différents appareils utilisés par les observateurs.

Ici encore on ne connaît pas de mouvement notable du sol qui se montre en relation entre 1896 et 1924 avec les variations du champ magnétique que nous venons de discuter. On notera pourtant que le seuil de Bourgogne est une région séismique connue. En particulier au XIX^e siècle les secousses nombreuses qui y ont été ressenties témoignent d'une instabilité de son sous-sol. On peut citer d'après LEMOINE (*loc. cit.*) les séismes de 1780, 1783, 1784, 1791, 1810, 1836, 1846, 1850, 1853, 1855. A Bourbonne-les-Bains plusieurs secousses ont eu lieu en 1861, 1862, 1863 ; d'autres séismes encore en 1880, 1884, 1888 paraissent liés à cette région de la Côte-d'Or. Les renseignements précis concernant l'épicentre exact et la profondeur du foyer font malheureusement défaut.

Conclusions. — L'étude détaillée — à l'aide d'un variomètre magnétique — de l'anomalie du Bassin de Paris nous a amenés à conclure, par comparaison avec les réseaux antérieurs, que si l'allure générale de l'anomalie reste la même, les détails, la position des maximums, comme leur valeur absolue, se modifient de manière sensible. Si nous admettons que la *partie principale de l'anomalie* peut être attribuée à une crête magnétique dont la profondeur serait de l'ordre d'une dizaine de kilomètres, les modifications observées dans les détails seraient dues au changement des propriétés physiques de cette couche ou d'une zone inférieure par suite de déplacements du magma, déplacements qu'il faut sans doute mettre en rapport avec les séismes dont l'hypocentre se place suivant les calculs récents entre 15 et 40 kilomètres de profondeur. Aucun fait expérimental ne permet actuellement de connaître les propriétés magnétiques à cette profondeur, et en particulier on ignore comment s'y comporte le point de Curie.

Ainsi la classification faite par certains auteurs des anomalies magnétiques en anomalies régionales au-dessus de 15 kilomètres et crustales au-dessous paraît bien arbitraire. L'un d'eux (J. Jung, *loc. cit.*) proposait de relier au « réajustement isostatique de l'anomalie régionale nord-alsacienne » le séisme de Rastatt du 3 février 1933 ; dans cette hypothèse son hypocentre aurait dû se trouver au-dessus de 15 kilomètres ; en fait les séismologues sont d'accord pour le situer à 37 kilomètres de profondeur. En réalité les anomalies régionales ou crustales sont intimement liées.

La secousse séismique n'est pour l'école japonaise que le dernier stade de l'activité séismique et la perturbation magnétique apparaît avant la secousse, accompagnant ainsi le déplacement magnétique et non la secousse elle-même. De même nous pouvons dire que la région étudiée du Bassin de Paris accuse une activité séismique que les modifications du champ magnétique mettent en évidence, activité séismique avortée dont les paroxysmes se traduisent de temps en temps par des secousses faiblement ressenties dans des régions toujours bien définies.

Ces modifications subies par les anomalies régionales montrent que leur interprétation dans le sens géologique est fragile. Les profondeurs que nous avons indiquées pour la crête magnétique du Bassin de Paris sont considérables à l'échelle géologique et nous amènent à corriger la première idée exposée au début de ce chapitre. Les lignes de schaarung hercyniennes se superposent, nous l'avons vu, aux anomalies parisiennes et belges. Pourtant nous avons dû chercher l'origine de ces anomalies à une dizaine de kilomètres, celle de leurs déformations à une profondeur plus grande. Dès lors il apparaît que ces lignes de rebroussement n'expliquent pas l'anomalie magnétique, mais qu'en réalité elles se modèlent elles-mêmes sur les rides profondes de la croûte, rides que les crêtes magnétiques nous signalent et que les séismes nous situent.

Je me suis borné ici à étudier objectivement — en profitant des mesures antérieures — un

exemple particulier et j'ai essayé de montrer à quelles conclusions générales peut conduire ce travail.

Il y a lieu sans doute d'étendre une telle étude à d'autres régions françaises. L'emploi des variomètres permet de lever rapidement de nombreuses stations, avec une précision qui dépasse largement celle des mesures absolues ; il permet de renouveler fréquemment ces réseaux. La comparaison de leurs résultats avec les données séismologiques sera certainement fructueuse.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I. — Le variomètre vertical de Schmidt, son utilisation sur le terrain	3
Théorie simplifiée	3
Emploi du variomètre et dépouillement des résultats	7
I. — Choix des stations, levés cartographiques.....	7
II. — Mesure de la composante verticale en une station	9
III. — Dépouillement des résultats	11
A. Valeur d'échelle	12
B. Correction de température.....	14
C. Correction de variation diurne	17
D. Emploi des aimants auxiliaires.....	20
E. Correction complémentaire de base.....	21
IV. — Perturbations accidentelles	24
CHAPITRE II. — Etude magnétique de quelques gisements de roches éruptives	27
I. — Roches ophitiques des Pyrénées.....	29
II. — Basaltes de Lorraine	33
III. — Types de gisement des basaltes d'Alsace.....	45
IV. — Autres types de gisements des roches basaltiques.....	54
La variation séculaire du champ magnétique et les résultats des prospections étudiées dans ce mémoire	58
V. — Le massif de diorite du Neuntelstein	60
CHAPITRE III. — Prospection magnétique en terrain sédimentaire	70
I. — La faille vosgienne	70
II. — L'anticlinal du Pays de Bray.....	77
CHAPITRE IV. — Application de l'emploi du variomètre à l'étude d'une anomalie magnétique régionale	87
L'anomalie du Bassin de Paris : réseaux antérieurs à 1930	89
: résultats résumés du réseau de 1930	93
: réseau magnétique de 1935	97
Les tremblements de terre du Bassin de Paris et l'anomalie magnétique	105
Conclusions	109

DEUXIÈME THÈSE

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

« STRUCTURE GÉOLOGIQUE ET MORPHOLOGIE
DU GROËNLAND AU VOISINAGE DU SCORESBY SUND »

VU ET APPROUVÉ :

Paris, le 30 Septembre 1936.

Le Doyen de la Faculté des Sciences,

MAURAIN.

VU ET PERMIS D'IMPRIMER :

Le Recteur de l'Académie de Paris,
S. CHARLÉTY.

Imprimerie des Presses Universitaires de France, Paris-Saint-Amand. — 10-3-1937



UNAM

FECHA DE DEVOLUCIÓN

El lector se obliga a devolver este libro antes
del vencimiento de préstamo señalado por el
último sello



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MÉXICO

