

Etude paléomagnétique de quelques affleurements volcaniques du Kaiserstuhl

von

J. P. Lauer, Strasbourg

13 figures

Zusammenfassung

Nous avons appliqué au Kaiserstuhl les techniques du Paléomagnétisme. Environ 120 échantillons volcaniques orientés ont été récoltés dans la partie Ouest du massif et étudiés au laboratoire. La direction de leur aimantation est nettement différente de la direction du champ magnétique terrestre actuel, dans la majorité des cas l'aimantation est inversée (inclinaison -45° au lieu de $+64^\circ$, déclinaison environ 180° au lieu de 3° Ouest). La désaimantation par courants alternatifs permet de montrer qu'il s'agit d'une aimantation stable: soit une aimantation thermorémanente d'origine acquise au moment du refroidissement, soit une aimantation de recristallisation acquise après la mise en place.

La formation λ_1 du Limberg pour laquelle l'aimantation paraît être thermorémanente, permet de situer une période d'inversion du champ terrestre au Burdigalien supérieur.



Es wurden im Kaiserstuhl die technischen Methoden zur Erforschung des Paläomagnetismus angewendet, indem ungefähr 120 Gesteinsproben orientiert aus dem Verband der Lavaströme des westlichen Gebirgsteiles entnommen und im Laboratorium untersucht wurden. Die Magnetisierung dieser Gesteine ist bezüglich ihrer Richtung sehr verschieden von der Richtung des heutigen terrestrischen Magnetfeldes; in der Mehrzahl zeigen die Proben eine inverse Magnetisierung (Inklination -45° anstatt $+64^\circ$; Deklination ungefähr 180° statt 3° West). Die Entmagnetisierung durch Wechselstrom ergab, daß es sich dabei um eine stabile Magnetisierung handelt, welche dem Gestein in Form einer thermoremanenten Magnetisierung aufgeprägt wurde, als es erstarrte. Oder aber die Magnetisierung erfolgte durch eine Rekrystallisation des Gesteins nach seiner Erstarrung an Ort und Stelle.

Der Limburgitstrom λ_1 des Limberges weist wohl einen thermoremanenten Magnetismus auf, aus welchem eine Periode magnetischer Inversion des terrestrischen Magnetfeldes in der Zeit des Oberen Burdigal abgeleitet werden kann.

Grâce à l'amabilité de Monsieur le Professeur M. PFANNENSTIEL de l'Institut de Géologie et Paléontologie de l'Université de Fribourg-en-Brisgau, une étude paléomagnétique a été entreprise au Kaiserstuhl. La présente note expose les premiers résultats obtenus dans cette étude.

La géologie du Kaiserstuhl a fait l'objet, depuis le début du dix-neuvième siècle, d'un grand nombre d'études (5).

Les travaux d'ensemble les plus récents sont ceux de J. SOELLNER (1912 à 1939), M. PFANNENSTIEL (1933) (4), H. SCHNEIDERHÖHN (1949) (10) et surtout la carte au 1/25 000e et ses « Erläuterungen » publiés en 1957 et 1959 (1). W. HASEMANN et W. WIMMENAUER, en particulier, y font le point des connaissances actuelles.

Tous ces auteurs attribuent au volcanisme un âge oligo-miocène. Mais une datation précise n'est possible qu'au Limberg.

Pour l'ensemble du massif on ne dispose que des repères suivants:

a) pour la limite inférieure de l'âge du volcanisme:

- apparition du massif au milieu de couches sédimentaires stampiennes et, en partie, chattiennes et basculement de celles-ci au voisinage de la masse volcanique;
- existence à la partie supérieure du Chattien de la région de Geiswasser et de Neuf-Brisach d'une zone à susceptibilité magnétique anormalement élevée et à forte radioactivité (7, 8 et 9);
- niveaux stratigraphiques de la partie orientale sédimentaire du massif sur lesquels se sont répandues les formations de la partie occidentale volcanique (depuis la Zone Bitumineuse Inférieure jusqu'aux marnes à Cyrènes) (1).

b) pour la chronologie relative des formations:

- intersections de formations;
- rôle possible de la faille du Tuniberg décelée jusqu'aux abords immédiats du massif (6);
- existence de surfaces d'érosion (4).

c) pour la limite supérieure de l'âge du volcanisme:

- de rares fossiles dont l'âge tortonien-sarmatien (4) est contesté, se rencontrent dans un travertin près de Schelingen. Ce travertin a été déposé au cours d'une phase hydrothermale sur un relief déjà très atteint par l'érosion;

- au Limberg, le tuf t_3 donne un âge de 16,2 millions d'années par la méthode de datation au Potassium-Argon (2). Les formations λ_1 et peut-être λ_2 qui lui sont sous-jacentes sont du Burdigalien supérieur (H. TOBIEN). Ces coulées étant estimées plus jeunes que le restant du massif, on peut ainsi situer approximativement la fin du volcanisme;
- les diaclases de la phonolite d'Oberschaffhausen renferment des débris attribués au Pliocène (4);
- une épaisse couche de loess recouvre toutes les manifestations volcaniques.

La mise en place des formations a donc eu lieu durant une période mal connue dans le Fossé Rhénan, allant de la fin du Chattien au milieu du Miocène.

Au point de vue magnétique, je rappellerai les études antérieures de G. MEYER (3) et H. REICH, H. CLOSS et H. SCHÖNE (6) qui mettent en évidence la présence de masses rocheuses dont l'aimantation est inversée. J. P. ROTHE (9) a proposé une corrélation magnétique avec les venues basaltiques d'Alsace et de Lorraine.

Principe de la méthode paléomagnétique

Nous croyons utile de rappeler quelques faits généraux concernant le Paléomagnétisme. L'étude de l'aimantation d'échantillons de roches a été entreprise dès la fin du 19^e siècle. Au début du 20^e siècle déjà, d'importants résultats avaient été obtenus, mais c'est surtout au cours des dernières années qu'ont pu être dégagés et précisés les résultats suivants:

- a) Le sens d'aimantation des roches paraît dépendre de leur âge. Il est tantôt normal (sens actuel), tantôt inversé.
Aux époques récentes (Tertiaire supérieur) le rythme des inversions semble être d'environ un million d'années; il a été beaucoup plus lent pour certaines époques anciennes (Crétacé, Permien etc. . .).
- b) La direction d'aimantation dépend aussi de l'âge des roches. Pour les périodes récentes, elle est voisine de la direction actuelle du champ. Pour les périodes anciennes elle est généralement différente et, par exemple, à la fin du Primaire, les aimantations sont voisines de l'horizontale en Europe occidentale.
- c) Des résultats relatifs aux aimantations on est passé aux résultats concernant le champ terrestre lui-même, mais pour cela il est indispensable de faire une analyse très précise de l'aimantation naturelle portée par la roche.

L'aimantation des laves est essentiellement due à la présence de minéraux ferromagnétiques: magnétite, titanomagnétites et ferriilménites.

On distingue une aimantation induite due à l'action du champ terrestre actuel et une aimantation permanente. Cette-dernière peut correspondre à:

- une aimantation thermorémanente (ATR) acquise par les matériaux au moment de leur refroidissement à des températures inférieures à la température de Curie (585° pour la magnétite, 670° pour l'oligiste, etc.). Cette aimantation est très stable;
- une aimantation rémanente visqueuse (ARV) acquise lentement à température ordinaire sous l'action du champ terrestre. Cette aimantation est généralement assez peu stable. Son intensité est une fonction logarithmique du temps; on peut ainsi, en quelques jours, observer des effets d'un ordre de grandeur comparable à ceux qui se sont produits depuis des époques très reculées;
- une aimantation de cristallisation (ARC) acquise au moment de la formation des cristaux dans le cas où des transformations chimiques sont intervenues postérieurement au dépôt des matériaux. Cette aimantation est très stable;
- une aimantation rémanente isotherme (ARI) acquise à température ordinaire sous l'action de champs intenses tels ceux que produisent les courants de foudre. Son degré de stabilité dépend de l'intensité du champ qui a agi;
- une aimantation de pression pouvant exister surtout dans les roches métamorphiques.

Dans les études paléomagnétiques on cherche généralement à retrouver, à partir de l'aimantation naturelle, la composante stable qui, selon les cas, peut correspondre dans les roches volcaniques à une aimantation thermorémanente dirigée parallèlement au champ terrestre ayant agi au moment de la mise en place et du refroidissement des roches ou à une aimantation de recristallisation dirigée parallèlement au champ terrestre ayant agi postérieurement à la mise en place.

Pour cela on élimine les autres composantes moins stables en utilisant soit l'action d'un champ magnétique alternatif soit un chauffage progressif des échantillons.

Les mesures ont été faites à l'aide d'un appareil à induction mis au point dès 1937 par E. THELIER (17) et réalisé à l'Institut de Physique du Globe de Strasbourg.

Afin d'étudier la nature de l'aimantation rémanente, un appareillage de désaimantation par champs alternatifs a également été réalisé. Une quin-

zaine d'échantillons ont ainsi été désaimantés selon la méthode mise au point par E. THELLIER et F. RIMBERT (14, 18 et 19) et expérimentée avec soin par J. A. AS et J. D. A. ZIJDERVELD (11 et 12).

Notations et conventions de représentation

Le système de référence utilisé est un trièdre trirectangle ayant ses axes

Ox vers le Nord géographique,

Oy vers l'Est,

Oz suivant la verticale descendante.

Ce repère est attaché à l'échantillon; les aimantations dirigées vers le haut, par exemple, auront donc une inclinaison négative.

Pour chaque échantillon seront donnés: son numéro, l'inclinaison et la déclinaison de l'aimantation rémanente naturelle, la valeur de la susceptibilité spécifique χ en uem CGS $\times 10^6$ et par gramme, la valeur du rapport $\frac{\sigma}{\chi H}$ de l'aimantation rémanente à l'aimantation induite par le champ terrestre (facteur Q de KOENIGSBERGER) et finalement le résultat du test de THELLIER (nouvelle mesure de l'aimantation après que l'échantillon ait séjourné une quinzaine de jours dans une orientation différente de celle qu'il avait sur le terrain par rapport au champ terrestre) donné à l'aide des abréviations:

S stable,

TFI très faiblement instable,

FI faiblement instable,

I instable,

TI très instable.

En projection stéréographique, les points blancs indiquent les directions à inclinaison négative (vers le haut), les noirs représentent celles dont l'inclinaison est positive. La croix indique la direction du champ terrestre actuel (vers le bas).

Les courbes de désaimantation représentent la projection sur le plan horizontal xOy (points noirs) et sur le plan vertical yOz (points blancs) de l'évolution dans l'espace de l'extrémité du vecteur aimantation rémanente. Lorsque cette aimantation est stable, le vecteur décroît en module sans changer de direction: les courbes sont alors des droites passant par l'origine. La présence d'une ARV se traduit par une boucle au début de la désaimantation. Lorsque l'ARV a été éliminée, les courbes deviennent rectilignes comme dans le cas précédent.

Les chiffres portés auprès des courbes indiquent le champ alternatif démagnétisant maximum atteint pour chaque stade de la désaimantation.

Etude des formations

Environ 120 échantillons orientés ont été récoltés dans la partie occidentale du massif.

Les formations étudiées sont les suivantes:

sites	numéros	coordonnées r ou x	métriques h ou y
Limberg, carrière I			
« Blocklava » λ_2	9 à 16	3396100	5335700
tuf rouge-brique	17		
limburgite λ_1	1 à 8, 18, 19 et 64 à 80		
Limberg, carrière VII			
limburgite λ_2	81 à 91	3396300	5335200
Sponeck-Humberg			
brèche (?)	20 à 26	3395000	5331250
Kirchberg			
tufs	27 à 31	3396770	5328050
phonolite compacte	42 à 48	3396650	5328125
Steingrubenberg			
brèche (?)	32 à 41	3397650	5328050
Büchsenberg (téphrites)			
2ème coulée (moyenne)	56 à 59 et 92 à 96	3396275	5326875
2ème tuf	60 à 63		
1ère coulée (inférieure)	49 à 54		
1er tuf (inférieur)	55		
Schlossberg			
carrière (téphrites)	97 à 101	3396875	5326525
affleurement	102 à 106	3397250	5326550

Les coordonnées sont définies par rapport au carroyage kilométrique de la « Geologische Exkursionskarte » (1) ou encore celui de la carte topographique au 1/25 000e, feuilles 7811, 7812, 7911 et 7912 (Wyhl, Endingen, Breisach et Eichstetten) du Landesvermessungsamt Baden-Württemberg.

A) Kirchberg de Niederrotweil

a) tufs phonolitiques

L'affleurement se trouve sur le flanc Sud du grand dôme de phonolite de Niederrotweil. On l'atteint par le chemin qui grimpe vers le NE, longe-

ant ainsi la lisière Sud d'un bosquet qui court le long du bord supérieur de la carrière, on traverse en diagonale un pré à gauche, puis on passe au pied d'un monticule de pierrailles.

Les échantillons ont été pris quelques dizaines de mètres plus à l'Est, sur une distance d'une dizaine de mètres, en haut d'un vignoble qui a entamé la colline.

Il s'agit vraisemblablement de tufs et brèches phonolitiques, relativement compacts, d'un gris verdâtre, présentant un litage incliné vers le SO d'environ 40° . On distingue à l'oeil nu des cristaux d'augite et de petits dodécaèdres de mélanite.

Les aimantations sont difficilement mesurables avec l'appareil utilisé. La susceptibilité spécifique χ se situe aux environs de 150 à $200 \cdot 10^{-6}$ uem CGS et le sens de l'aimantation rémanente semble normal.

Le seul échantillon qui puisse valablement être pris en considération donne $I = +48^\circ$, $D = 326^\circ$. Son aimantation n'est pas très instable.

b) phonolite compacte

Les échantillons ont été prélevés sur une distance d'environ 10 m au pied du grand rocher qui est directement à droite de l'entrée Ouest de la grande carrière. A l'oeil nu on distingue des cristaux de feldspath, de mélanite, d'augite et de haüyne. Des substances bitumineuses imprègnent la roche. La magnétite n'est ici qu'un minéral accessoire.

Les aimantations ne sont pas mesurables avec l'appareil utilisé. On peut en déduire que σ est inférieur à $0,1 \cdot 10^{-4}$ et χ est inférieur à $50 \cdot 10^{-6}$ uem CGS par gramme.

Des mesures au laboratoire du Professeur E. THELIER à Saint Maur, ont montré que, sur quatre échantillons étudiés, trois possédaient une aimantation à inclinaison négative.

Nous avons également mis en évidence cette ténuité des aimantations rémanente et induite sur des échantillons de phonolite du Fohberg d'Oberschaffhausen et aussi sur une tinguaité de la région centrale du Kaiserstuhl.

Les téphrites que l'on trouve au Kirchberg sur le bord du chemin qui, du SO, monte vers l'entrée Ouest de la carrière, présentent une foliation tourmentée et n'ont pas de direction d'aimantation cohérente. Elles ont dû subir des effets complexes lors de l'intrusion du dôme.

B) Steingrubenberg

Il s'agit d'anciennes petites carrières abandonnées en amont de la vallée de l'église d'Oberrotweil. Il n'est guère possible de reconstituer la succession des formations ou de les suivre d'une carrière à l'autre.

Les échantillons ont souvent l'aspect de scories. Certains sont nettement des brèches.

On rencontre des aimantations à la fois normales et inversées. Certaines ont des directions nettement aberrantes. La dispersion des directions subsiste après la désaimantation. χ varie entre 1250 et 1600.

L'interprétation des résultats est difficile.

C) Humberg

A partir du château de Sponeck on suit vers le Sud un chemin qui longe les falaises abruptes du Humberg (à gauche) et surplombe les marécages et eaux mortes du Rhin (à droite). On rencontre à gauche une niche peu profonde construite dans le flanc d'un petit mamelon. Derrière et au-dessus de ce mamelon on aperçoit une proéminence de la falaise: c'est dans ce rocher qu'ont été récoltés les échantillons.

On distingue deux parties: une zone supérieure d'un gris clair, compacte et homogène, ayant l'apparence de tufs consolidés mais ne présentant aucune stratification et une zone inférieure montrant une alternance de strates roses et noires inclinées vers le NNE d'environ 30°.

Les résultats obtenus sont les suivants:

N°	I	D	χ	$\frac{\sigma}{\chi H}$	
20	—41°	121°	925	0,8	FI à I
20 bis	—50°	109°	—	0,9	FI à I
21	—61°	133°	1350	2,8	FI
22	—46°	116°	1450	2,4	FI
23	—30°	142°	1200	1,1	FI à I
24	—33°	152°	—	1,5	FI à I
25	—20°	117°	825	0,8	I
25 bis	—	—	575	0,5	
26	—32°	121°	1225	1,9	FI à I
26 bis	—26°	103°	—	1,8	FI à I

La désaimantation de l'échantillon 25 aboutit à I = —40°, D = 125° à 80 Oe déjà.

Il serait important de savoir si le pendage est originel ou s'il est le résultat d'un basculement postérieur à la mise en place et à l'acquisition de l'aimantation.

La cohérence relativement bonne est étonnante pour une roche aussi hétérogène que les tufs bréchiques de la partie inférieure.

D) Schlossberg d'Achkarren

a) affleurement au bord du chemin

Il s'agit certainement d'un filon d'essexite porphyrique (Ep) non explicité sur la carte. On l'atteint en suivant, à partir de la carrière étudiée ci-après,

un chemin qui monte vers le SE et suit ensuite la courbe de niveau. A l'endroit où l'on commence à redescendre sur Achkarren, le chemin fait un coude vers la gauche. L'affleurement est une plaque rocheuse au bord du chemin à l'intérieur de ce coude. La construction récente d'un petit mur en a considérablement réduit l'étendue. Sa surface supérieure est inclinée vers le SO.

Les résultats sont les suivants:

N°	I	D	χ	$\frac{\sigma}{\chi H}$	
102	—15°	195°	1575	1,1	I à TI
103	—15°	192°	1700	1,0	I à TI
104	—43°	195°	—	1,6	S ou TFI
105	— 7°	227°	1825	0,9	TI
106	—35°	228°	1775	1,2	I

La désaimantation des échantillons 103 et 106 montre une évolution du vecteur aimantation qui paraît complexe. Une étude plus complète est nécessaire.

b) carrière Ouest

Au fond de la carrière on trouve un abri enterré qui servait sans doute autrefois de tranchée-cible pour un stand de tir. La paroi Sud montre une alternance irrégulière de brèches roses et de formations sombres qui sont des coulées ou des intrusions de téphrites à leucite. Les limites exactes de ces différentes formations sont souvent difficiles à déterminer. L'inclinaison des couches est forte (30 à 50° OSO suivant cette coupe). La question d'un éventuel basculement se pose encore ici.

Les échantillons ont été récoltés dans la formation sombre inférieure.

Les résultats obtenus sont les suivants:

N°	I	D	χ	$\frac{\sigma}{\chi H}$	
97	—50°	164°	500	(15,0)	S ou TFI
98	—51°	172°	850	4,0	S ou TFI
99	—51°	172°	900	7,3	S ou TFI
100	—34°	168°	500	3,5	I
101	—46°	164°	1100	5,5	S ou TFI
101 bis	—43°	158°	1075	6,1	TFI

La désaimantation des 99 et 101 confirme leur stabilité. Pour l'ensemble de la formation on peut admettre pour la direction de l'aimantation stable: I = —51°, D = 170°.

E) Büchsenberg

Cette grande carrière offre une belle alternance de « coulées » de téphrites à leucite et de tufs bréchiques roses inclinés d'environ 35° NNO.

Deux surfaces de glissement la traversent.

Seule la paroi Nord a été étudiée ici.

a) *formation rose inférieure*

55 est le seul échantillon récolté. Il donne:

N°	I	D	χ	$\frac{\sigma}{\chi H}$	TI
55	+9°	87°	2200	0,8	

Un échantillon étudié par A. ROCHE était également instable et donnait: I = +16°, D = 293°.

b) « coulée » inférieure

On obtient:

N°	I	D	χ	$\frac{\sigma}{\chi H}$	
49	-44°	194°	700	10,1	S
50	-45°	192°	—	9,7	S
51	-45°	199°	625	11,8	S ou TFI
51 bis	-44°	199°	575	10,0	S
52	-40°	195°	1725	1,5	FI
53	-41°	193°	1625	2,2	FI
54	-44°	190°	1025	7,5	S ou TFI

La désaimantation de 49 et 51 bis confirme leur stabilité. L'accord entre les mesures est remarquable. La direction de l'aimantation stable correspond à I = -45°, D = 195°.

Un échantillon récolté et étudié par A. ROCHE a donné: I = -41°, D = 198°.

c) *deuxième formation rose*

Celle-ci est particulièrement épaisse. L'aspect est inhomogène. Des blocs de la grosseur d'un poing font saillie.

Les résultats sont les suivants:

N°	I	D	χ	$\frac{\sigma}{\chi H}$	
60	- 2°	228°	1075	16,6	S
61	-22°	208°	—	(27,0)	S
62	- 1°	230°	1475	15,1	S
63	-13°	230°	—	9,5	S ou TFI

La désaimantation du 60 a confirmé la stabilité de son aimantation.

A. ROCHE a étudié deux échantillons de cette formation et trouve:

pour l'un: I = -18°, D = 218°,

pour l'autre: I = -47°, D = 245°.

Ce dernier a été récolté à proximité de la « coulée » moyenne.

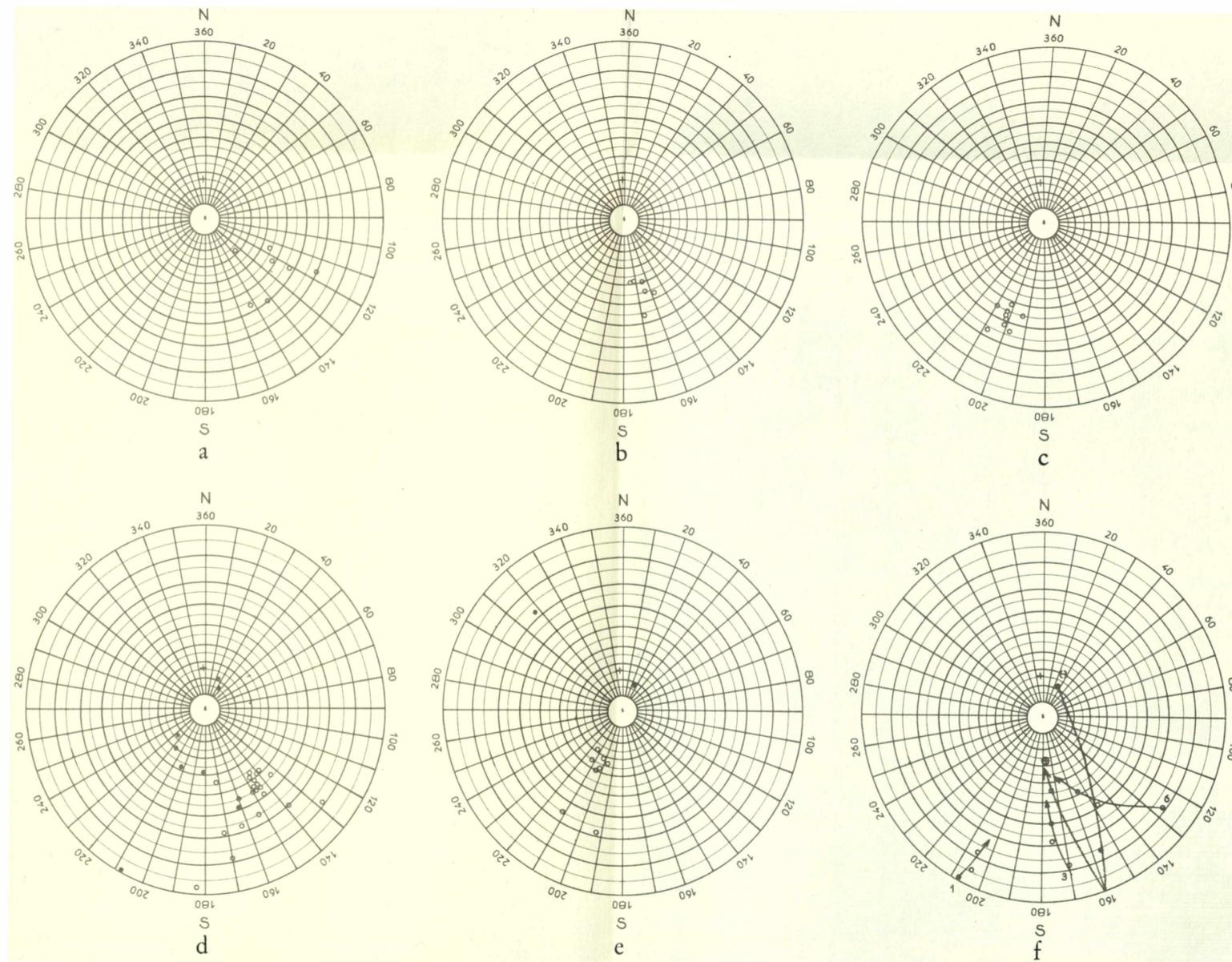


Fig. 1. Projections stéréographiques des directions des aimantations rémanentes naturelles de quelques formations: a: Humberg; b: carrière du Schlossberg d'Achkarren, formation inférieure; c: Büchsenberg, formation moyenne; d: Limberg, λ_1 ; e: Limberg, λ_2 ; f: mise en évidence d'une ARV: évolution des directions d'aimantation de quelques échantillons de λ_1 après retournement de l'échantillon.

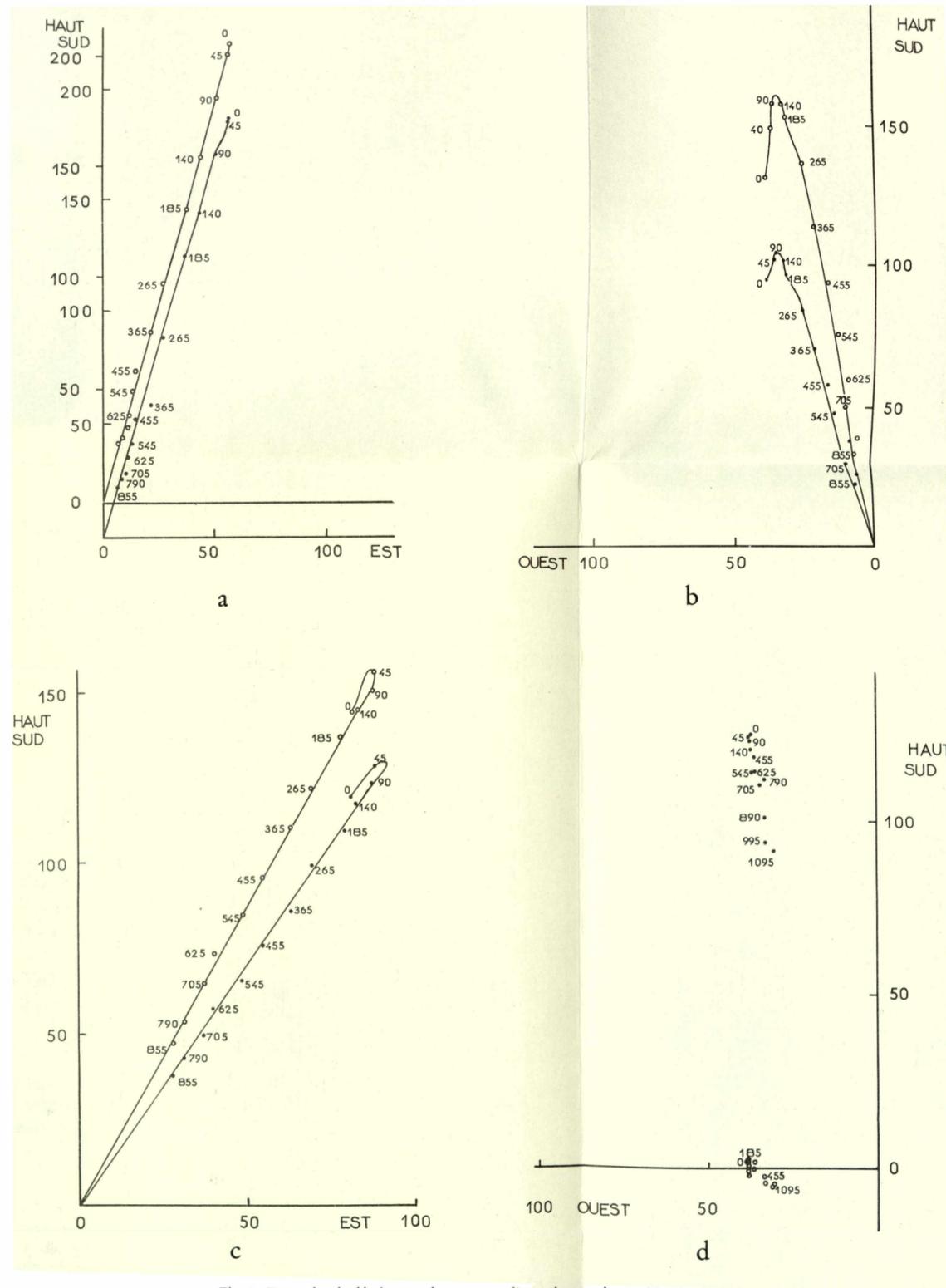


Fig. 2. Exemples de désaimantations: a: cas d'une aimantation stable; b et c: présence d'une ARV; d: cas particulier des aimantations voisines de l'horizontale (échantillon 12IV).

Ces résultats semblent, en gros, cohérents. Ils posent un problème sur lequel on reviendra.

d) *coulée* » moyenne

La formation est peu épaisse.

On trouve:

N°	I	D	χ	$\frac{\sigma}{\chi H}$	
56	—35°	203°	1250	6,8	S
57	—34°	203°	1350	5,3	S ou TFI
58	—23°	208°	1675	1,5	I
59	—27°	198°	1825	1,8	I
92	—35°	210°	1300	5,0	S ou TFI
93	—39°	201°	1550	2,2	FI à I
94	—32°	202°	1485	3,1	FI
95	—35°	193°	1425	3,8	S ou TFI
96	—29°	201°	1450	2,0	FI à I

La désaimantation des 58 et 59 met en évidence une ARV que l'on élimine facilement. Celle de 96 aboutit à I = —35°, D = 191° à 160 Oe déjà.

Un échantillon étudié par A. ROCHE a donné I = —35°, D = 208°

L'orientation moyenne de l'aimantation stable correspond donc à I = —35°, D = 203° environ.

e) *autres résultats* (A. ROCHE)

Deux échantillons prélevés dans le troisième tuf donnent:

$$I = -5^\circ, D = 238^\circ$$

$$\text{et } I = -34^\circ, D = 228^\circ$$

Ce dernier a été pris à proximité de la troisième « coulée » et semble avoir été influencé par elle.

Un échantillon de la troisième « coulée » donne: I = —38°, D = 196°
Ce résultat est voisin de ceux que donne la « coulée » moyenne.

F) Limberg

G. STÖBER (1955) a pu mettre en évidence l'existence d'un fossé d'effondrement dont la connaissance est indispensable à la compréhension de l'architecture du Limberg.

a) *carrière I (Nord), formation de limburgite λ_1 (Burdigalien supérieur)*

Cette coulée n'est pas basculée. Elle a été bien datée par H. TOBIEN grâce à l'étude de deux rubans de tufs fossilifères t_0 et t_1 qui l'encadrent.

Tous les échantillons proviennent de la moitié gauche de la carrière. On obtient:

N°	I	D	χ	$\frac{\sigma}{\chi H}$	
1	+ 1°	208°	—	2,9	I
1 bis	—	—	—	—	FI à I
2	(-22°)	(168°)	—	—	(S)
3	-12°	170°	(900)	1,6	I à TI
3 bis	—	—	(775)	—	I à TI
4	+75°	33°	—	0,5	TI
5	-35°	150°	(825)	1,5	FI à I
6	-11°	127°	(850)	0,7	TI
7	-36°	134°	(825)	2,8	I
8	+68°	27°	(1210)	0,5	TI
18	+35°	160°	1250	0,8	TI
19	+51°	182°	1125	0,8	TI
19 bis	+60°	206°	1150	1,5	I à TI
19 ter	+52°	204°	1200	1,5	I à TI
64	-20°	139°	1125	0,9	I
65	-35°	144°	875	2,5	FI
66	-31°	145°	1625	1,8	FI
67	-39°	145°	1000	3,7	TFI
68	-45°	144°	850	4,5	S
68 bis	-42°	139°	850	3,7	S ou TFI
68 ter	-42°	147°	—	4,2	S ou TFI
69	-43°	141°	800	4,6	S
70	-37°	148°	1050	2,5	TFI
71	-37°	146°	1000	2,9	TFI
72	-22°	172°	1100	2,9	S
73	-23°	163°	900	3,1	FI
75	+67°	227°	1075	0,6	TI
76	-46°	172°	1210	6,6	S
77	+31°	161°	1175	0,7	I
78	-25°	152°	1325	3,6	I
79	-35°	147°	1400	11,0	S
80	- 2°	183°	1200	2,1	I

Des anomalies sont à noter pour un bloc isolé à gauche (échantillons 1, 2 et 3) et à la partie supérieure altérée de λ_1 (18, 19 et 75 à 80).

La désaimantation des 68 et 69 permet encore de dégager la partie stable de leur aimantation dont les caractéristiques sont analogues à celles de la plupart des aimantations rémanentes stables de cette formation à savoir: I = -44°, D = 144°

b) carrière I, formation λ_2 (« Blocklava »)

9 à 13 sont pris à droite, 14 à 16 à gauche de la carrière. La distance de ces deux sites est d'environ 80 m.

On trouve:

N°	I	D	χ	$\frac{\sigma}{\chi H}$	
9	-10°	167°	850	3,5	S
9 bis	-11°	169°	—	4,0	S
10	- 6°	190°	650	3,9	S
11	- 9°	193°	650	4,4	S
12	- 1°	198°	650	5,6	S
13	-13°	25°	250	9,3	S
14	+17°	213°	375	7,9	S ou TFI
15	-14°	200°	400	4,6	S
16	-11°	190°	700	4,6	S

Il ne peut s'agir d'une aimantation de foudre: la cohérence est en effet bonne entre les deux côtés de la carrière. Le 13 seul fait exception, mais, vérification faite, une erreur de 180° dans l'orientation en azimut paraît possible.



Fig. 3. Partie Nord de la carrière I du Limberg.

On distingue le ruban de tufs et sédiments fossilifères séparant λ_1 de la Blocklava λ_2 .

Ces résultats révèlent un phénomène inattendu, à savoir l'existence, pour des roches du Miocène, d'aimantations cohérentes stables à inclinaisons faibles voisines de l'horizontale.

La désaimantation de l'échantillon 12_{IV} montre la ténacité de cette aimantation.

c) carrière VII (Sud), limburgite λ_2

On est ici dans le fossé d'effondrement. Suivant la coupe qu'offre de λ_2 l'ancien front de taille, on peut noter une inclinaison de la surface supérieure de cette coulée d'environ 6 à 8° vers le NE à l'endroit étudié. L'inclinaison vers le NO semble négligeable.

Au-dessus de λ_2 , H. J. LIPPOLT (2) a trouvé un âge de 16,2 millions d'années pour une sanidine du tuf phonolitique t_3 . Le tuf t_1 étudié par H. TOBIEN est sous λ_2 .

L'étude paléomagnétique fournit les résultats suivants:

N°	I	D	χ	$\frac{\sigma}{\chi H}$	
81	-50°	206°	500	12,7	S
82	-55°	213°	800	1,2	S
83	-57°	198°	800	7,7	S
84	-53°	203°	1975	1,5	S ou TFI
85	-61°	212°	700	5,1	S
86	-59°	202°	1450	1,1	FI à I
87	+18°	318°	1200	0,2	TI
88	+71°	24°	1200	0,5	TI
89	-25°	211°	1250	2,5	I
90	-22°	193°	1250	0,6	I
91	-60°	204°	—	9,2	S

A. ROCHE a trouvé pour un échantillon de cette formation: I = -50°, D = 192°. Les échantillons 81, 83 et 84 ont été désaimantés.

Après considération du basculement de la coulée, on peut retenir pour l'aimantation stable les valeurs I = -52°, D = 205°

G) Etudes en cours

Des échantillons de néphéline à olivine récoltés récemment parmi les agglomérats β_r de la carrière VII du Limberg et dans la coulée β_1 du Lützelberg semblent présenter des aimantations cohérentes à inclinaison positive et à forte déclinaison orientale. Pour certains le rapport $\frac{\sigma}{\chi H}$ est considérable.

Si les aimantations observées sont représentatives de l'ensemble des formations, ces résultats présentent une grande importance; ils permettraient d'attribuer la mise en place des matériaux à une période où le champ ter-

restre avait un sens normal, période antérieure à la période du Burdigalien supérieur qui a vu la mise en place des autres formations du Limberg.

Conclusion

La grande majorité des échantillons récoltés dans la partie Ouest du massif présente des aimantations rémanentes naturelles inversées.

L'utilisation de la technique de désaimantation par courants alternatifs a permis de dégager les parties stables des aimantations. Celles-ci sont, elles aussi, inversées.

La formation λ_1 du Limberg permet de situer une période d'inversion du champ terrestre au Burdigalien supérieur.

Les inclinaisons observées pour l'aimantation sont généralement nettement plus faibles que l'inclinaison du champ terrestre actuel (-45° en moyenne au lieu de $+64^\circ$). Pour λ_1 du Limberg, la position du pôle géomagnétique virtuel correspond à 54° Nord, 107° Ouest.

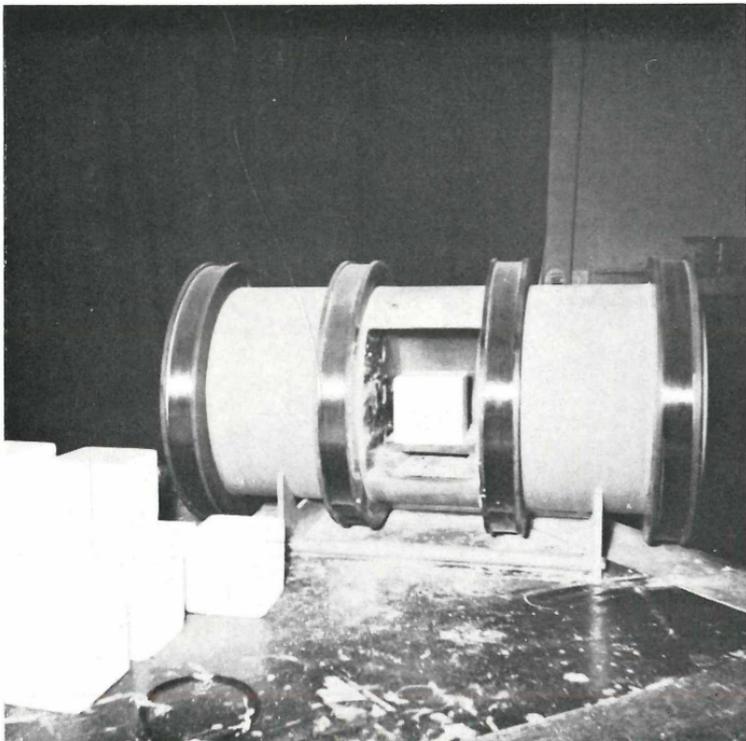


Fig. 4. Appareillage de mesures.

Le bon accord de ces inclinaisons pour la majorité des formations s'interprète bien s'il n'y a pas eu de basculements notables. Il deviendrait, au contraire, difficile à expliquer pour certaines d'entre elles si les forts pendages observés correspondaient effectivement à des basculements.

Les phonolites présentent des aimantations nettement plus faibles que les autres roches volcaniques.

Les aimantations stables voisines de l'horizontale observées au Limberg et au Büchsenberg posent un problème actuellement non résolu:

- ou bien on aurait saisi le passage de l'aimantation stable d'une polarité à la polarité opposée, ce qui paraît peu probable;
- ou cette aimantation correspondrait à un effet du type « recristallisation ». Cette dernière hypothèse permettrait d'expliquer l'existence, pour des formations du Tertiaire et en différents points du globe, d'aimantations de directions aberrantes. Celles-ci ont, jusqu'à présent, généralement été interprétées comme dues à des divagations du dipôle géomagnétique par rapport à l'écorce terrestre. Il est possible que, dans

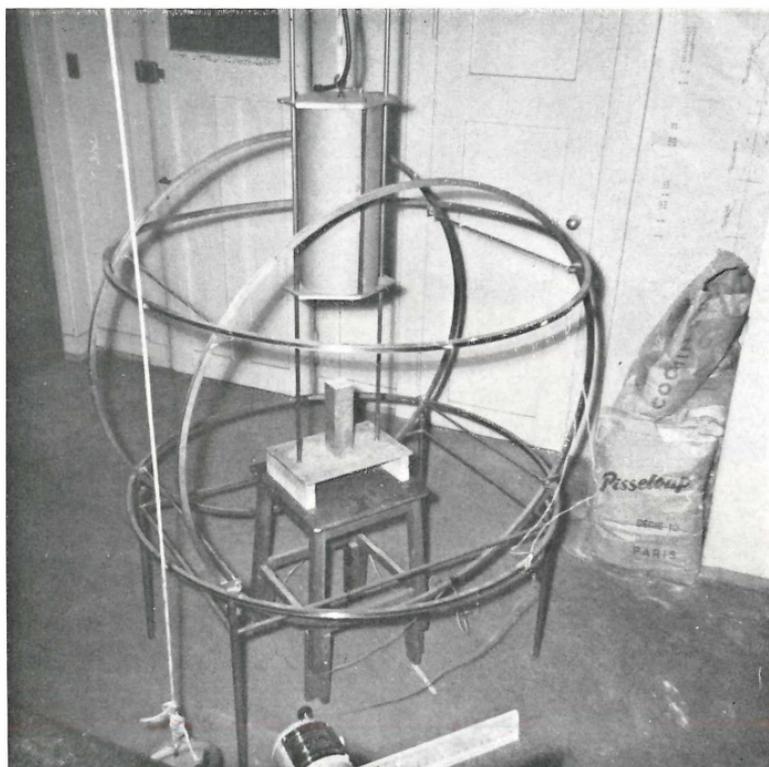


Fig. 5. Appareillage de désaimantation par champs alternatifs.

de nombreux cas, elles correspondent seulement à l'action d'une recristallisation partielle (20).

Certaines relations qualitatives, déjà signalées par d'autres auteurs, ont été retrouvées: augmentation de la stabilité avec $\frac{\sigma}{\chi H}$; les échantillons les plus stables d'une formation ont souvent la susceptibilité la plus faible.

L'instabilité magnétique est très répandue; elle est vraisemblablement en rapport avec l'abondance du Titane.

Nous poursuivons actuellement à l'Institut de Physique du Globe de Strasbourg ces recherches sur l'aimantation des roches du Kaiserstuhl.

La présente étude n'a été possible que grâce à l'amabilité de Monsieur le Professeur M. PFANNENSTIEL. Je le remercie, ainsi que son adjoint, Monsieur le Docteur G. RAHM, pour les explications qu'ils m'ont fournies ainsi que pour l'intérêt constant qu'ils ont porté à mes résultats.

Je remercie également Monsieur le Professeur F. KIRCHHEIMER et Monsieur le Professeur W. WIMMENAUER du Landesamt de Baden-Württemberg dont la carte géologique au 1/25 000e a été pour moi un merveilleux et précieux outil de travail.

Je remercie Monsieur le Professeur J. P. ROTHE, Monsieur le Professeur G. MILLOT, Monsieur le Professeur H. SAUCIER: l'aide qu'ils m'ont apportée a grandement facilité la réalisation de cette étude.

Monsieur le Professeur A. ROCHE a été pour moi un conseiller inlassable et un guide de tous les instants. Qu'il trouve ici l'expression de ma profonde reconnaissance.

Bibliographie sommaire

Géologie-géophysique

- (1) Geologische Exkursionskarte des Kaiserstuhls 1 : 25 000, 1957
Erläuterungen zur Exkursionskarte des Kaiserstuhls, 1959. — Geologisches Landesamt in Baden-Württemberg, Freiburg i. Br.
- (2) H. J. LIPPOLT: Altersbestimmungen nach der K-Ar-Methode bei kleinen Argon- und Kaliumkonzentrationen. — Diss., Heidelberg, 1961, pp. 1—82.
Kalium-Argon-Alterbestimmung an Gesteinen vom Kaiserstuhl und vom Hegau. — Phys. Verhandl., 11, 4—6, 1960, p. 78.
- (3) G. MEYER: Erdmagnetische Untersuchungen im Kaiserstuhl. — Berichte der Naturf. Ges. Freiburg i. Br., 12, Freiburg i. Br., 1902, pp. 134—174.
- (4) M. PFANNENSTIEL: Die Geologie des Kaiserstuhls; dans: « Der Kaiserstuhl », Bad. Landesver. Naturk. u. Naturschutz, Freiburg i. Br., 1933, pp. 18—127
- (5) M. PFANNENSTIEL et O. ZEDLITZ: Zusammenstellung des wichtigsten geologisch-mineralogischen Schrifttums über den Kaiserstuhl. — Berichte der Naturf. Ges. Freiburg i. Br., 38, Naumburg/Saale, 1942, pp. 1—26.

- (6) H. REICH, H. CLOSS et H. SCHOENE: Über magnetische und gravimetrische Untersuchungen am Kaiserstuhl. — Beiträge angew. Geophysik, **8**, 1939, pp. 45—77.
- (7) E. ROTHE et A. HEE: Sur les propriétés magnétiques des zones stratigraphiques de la vallée du Rhin. — C. R. Ac. Sc., Paris, 2ème série, **187**, 1928, pp. 52—54.
- (8) E. ROTHE et F. STOECKEL: Sur la radioactivité des couches géologiques de la vallée du Rhin et des roches des Vosges. — 68ème Congrès des Soc. Savantes, Section des Sciences, Paris, 1935, pp. 132—134.
- (9) J. P. ROTHE: Sur le magnétisme des basaltes d'Alsace. — C. R. Ac. Sc., Paris, **198**, 1934, pp. 1443—1444.
Contribution à l'étude des anomalies du champ magnétique terrestre. — Thèse, Paris, 1937.
- (10) H. SCHNEIDERHÖHN: Der Kaiserstuhl; dans: D. HOENES, K. R. MEHNERT et H. SCHNEIDERHÖHN: Führer zu petrographisch-geologischen Exkursionen im Schwarzwald und Kaiserstuhl. Stuttgart, 1949, pp. 31—45.

Paléomagnétisme

- (11) J. A. AS: Instruments and measuring methods in palaeomagnetic research. — Koninklijk Nederlands Meteor. Institut Mededelingen en Verhandelingen, **78**, Gravenhage, 1960.
- (12) J. A. AS et J. D. A. ZIJDERVELD: Magnetic cleaning of rocks in palaeomagnetic research. — The Geophysical Journal of the Roy. Astr. Soc., London, I, **4**, déc. 1958, pp. 308—319.
- (13) J. P. LAUER: Contribution à l'étude paléomagnétique du Kaiserstuhl. — Dipl. Ing. I. P. G., Strasbourg, 1964.
- (14) F. RIMBERT: Contribution à l'étude de l'action de champs alternatifs sur les aimantations rémanentes des roches. — Applications géophysiques. Thèse, Paris, 1958.
- (15) A. ROCHE: Etude sur l'aimantation des roches volcaniques tertiaires d'Auvergne et du Velay. — Thèse, Paris, 1953.
- (16) A. ROCHE: Sur l'aimantation des laves miocènes d'Auvergne. — C. R. Ac. Sc., Paris, **250**, 1960, pp. 377—379.
Voir aussi: C. R. Ac. Sc., Paris, **230**, 1950, pp. 113—115 et 1603—1604; **233**, 1951, pp. 1132—1134; **236**, 1956, pp. 107—109; **243**, 1956, pp. 312—814; **246**, 1958, pp. 3364—3366.
- (17) E. THELLIER: Sur l'aimantation des terres cuites et ses applications géophysiques. — Ann. I. P. G., Paris, **XVI**, 1938, pp. 156—302.
- (18) E. THELLIER et F. RIMBERT: Sur l'analyse d'aimantations fossiles par action de champs magnétiques alternatifs. — C. R. Ac. Sc., Paris, **239**, 1954, pp. 1399—1401.
- (19) E. THELLIER: Sur l'utilisation, en paléomagnétisme, de la désaimantation par champs alternatifs. — C. R. Ac. Sc., Paris, **240**, 1955, pp. 1401—1406.
- (20) E. THELLIER: Manteau supérieur et paléomagnétisme. — Communication au Congrès de Géophysique, Berkeley (USA), août 1963.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte der naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau](#)

Jahr/Year: 1964

Band/Volume: [54](#)

Autor(en)/Author(s): Lauer J.P.

Artikel/Article: [Etude paléomagnétique de quelques affleurements volcaniques du Kaiserstuhl 279-296](#)