

PALÉOMAGNÉTISME DU PERMIEN D'AMASRA (ANATOLIE DU NORD)

C. B. GREGOR

Laboratoire de Géologie, Université Américaine de Beyrouth

et

J. D. A. ZTJDERVELD

Vening Meinez Laboratorium, Université d'Utrecht

RÉSUMÉ. — Une série de 18 échantillons orientés, prélevés du Permien des environs d'Amasra (Mer Noire), a révélé, par suite de désaimantation progressive, une aimantation rémanente caractéristique avec déclinaison de 292° et inclinaison de $-14,8^\circ$. Des calculs partant de mesures sur roches permiennes provenant du bouclier européen donnent une déclinaison de 210° et une inclinaison de $-15,8^\circ$ pour la même région (valeurs moyennes).

Les études paléomagnétiques faites jusqu'à présent dans l'ensemble du Permien de l'Europe font ressortir un contraste frappant entre l'uniformité de l'orientation magnétique des roches du bouclier stable d'une part, et la variabilité de celle des roches de la chaîne alpine de l'autre. Dans le cas présent, la différence pourrait s'expliquer comme résultat de déplacements le long d'une faille horizontale de décrochement à l'échelle globale, ou bien de mouvements géotectoniques de plus grande envergure (dérive continentale). D'éventuelles études supplémentaires permettront de choisir entre ces deux hypothèses.

INTRODUCTION

Les roches permiennes de plusieurs régions du sud européen qui ont subi l'influence des mouvements orogénétiques de la révolution alpine (surtout le nord italien et les Pyrénées), se distinguent par leur directions magnétiques des roches contemporaines des régions dites «stables», c. à d. n'ayant pas été soumises à l'orogénèse: roches du bouclier. Ces dernières, en quelque point qu'elles aient été récoltées, ont une direction d'aimantation qui correspond à un pôle virtuel situé aux environs de $46,5^\circ$ N $165,5^\circ$ E (coordonnées d'aujourd'hui; Tabl. III). Les autres, provenant des régions de ce qu'on pourrait appeler le «groupe alpin» pour les distinguer des régions stables, ont des aimantations rémanentes avec orientations très-variables, dont les pôles correspondants sont éparpillés sur une large étendue du globe. (Voir par exemple Dietzel, 1960; van Hilten, 1960, 1962b; van der Lingen, 1960; Schwarz, 1962, 1963; de Boer, 1963; Guicherit, 1964.) La Figure 1, empruntée à van Hilten (1964b) montre bien le contraste entre ces deux groupes de pôles.

Cette différence peut s'expliquer par l'hypothèse de mouvements post-permiens de la part du groupe alpin relatifs au bouclier, chaque région ayant évolué selon les tendances locales des processus géotectoniques qui ont eu pour résultat principal le soulèvement de la chaîne alpine. Dans le but de savoir si de pareilles anomalies paléomagnétiques sont à rechercher dans les régions plus lointaines du système alpin, et afin de tirer au clair les déplacements subis par les différentes unités tectoniques, une série d'études régionales du Permo-Trias a été mise en oeuvre. Le laboratoire de géologie

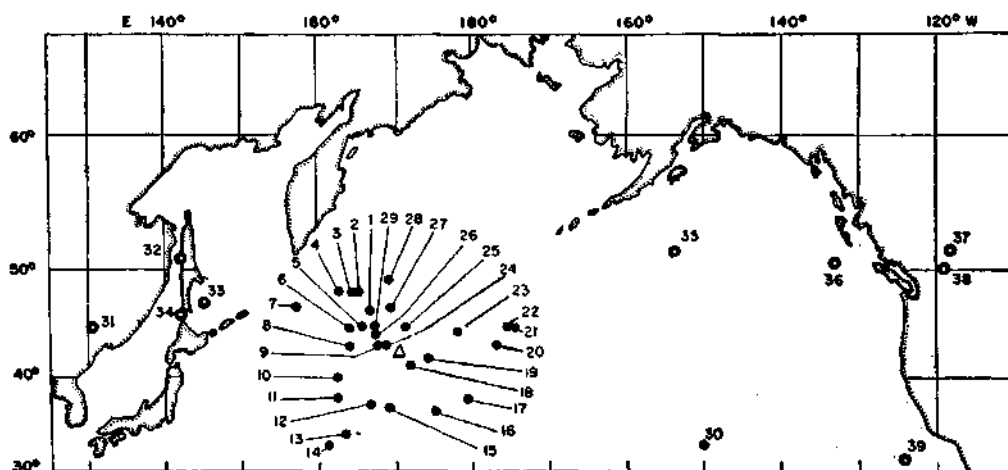


Fig. 1 - Contraste entre la distribution des pôles permien de l'Europe «stable» (No. 1-30) et celle des pôles contemporains des régions alpines (No. 31-39).

La position moyenne pour l'Europe stable est marquée par le triangle; elle ne coïncide pas exactement avec celle adoptée dans la présente étude (voir le Tableau III), cette dernière étant basée uniquement sur roches soumises à la désaimantation progressive. Projection Mercator (van Hilten, 1964b.)

de l'Université Américaine de Beyrouth a entrepris, sous la direction du Professeur Th. Raven, les études sur le terrain et le prélèvement d'échantillons dans la zone alpine du sud-est européen et du sud-ouest de l'Asie. Les mesures magnétiques sont exécutées au laboratoire paléomagnétique de l'Université d'Utrecht, sous la direction du Professeur J. Veldkamp. Nous présentons ici les résultats d'une série d'échantillons de grès rouges permien de l'Anatolie du nord (bassin houiller de Zonguldak), prélevés en septembre 1962 de trois localités dans le voisinage d'Amasra. Ces résultats ont été brièvement signalés dans un article préalable (Gregor & Zijdeveld, 1964); le présent article exposera d'une manière plus détaillée les considérations théoriques desquelles sont tirées nos conclusions quant à la direction caractéristique de l'aimantation rémanente du Permien de cette région, ainsi que les arguments d'ordre géotectonique qui en dépendent.

- I -

PALÉOMAGNÉTISME

Considérations générales

Nous ne saurions aborder une discussion du paléomagnétisme sans rendre hommage à notre grand confrère le Professeur E. Thellier, doyen de cette science, qui a tant fait pour la faire grandir et qui, y ayant consacré une longue et fructueuse carrière, ne se lasse point aujourd'hui d'y apporter des techniques et des découvertes nouvelles. Parmi ses nombreux ouvrages nous pouvons citer «Sur l'aimantation des terres cuites, et ses applications géophysiques» (1938) et «Propriétés magnétiques des terres cuites et des roches» (1951).

Les principes de base du paléomagnétisme ont été passés en revue par Cox & Doell (1960) dans un article classique auquel nous renvoyons le lecteur désireux de se renseigner sur la théorie fondamentale. Nagata (1961), dans son ouvrage «Rock

Magnetism», consacre un chapitre aux différentes méthodes de mesures à la portée des laboratoires modernes de paléomagnétisme. Nous nous bornerons donc ici à un exposé sommaire de quelques-uns des concepts principaux, à mesure que ceux-ci intéressent la présente étude.

Aimantation rémanente

Par aimantation rémanente nous entendons cette aimantation «fossile» qui persiste après la disparition du champ magnétique qui l'a fait naître, et qui se distingue donc de l'aimantation induite, celle-ci ne pouvant exister qu'en présence d'un champ magnétisant (voir plus loin). L'aimantation rémanente des roches se décompose en deux catégories :

- 1) Aimantation primaire,
- 2) Aimantation secondaire.

Aimantation primaire

Tout argument paléomagnétique, et par conséquent les conclusions qu'on en tire, reste sur la supposition qu'une roche contenant des minéraux magnétiques acquiert, lors de sa mise en place, une aimantation 'rémanente (dite «aimantation primaire») dirigée parallèlement au champ magnétique terrestre de l'époque en question. Cette aimantation primaire s'impose, soit pendant le refroidissement d'une roche ignée au-dessous du point curie de ses minéraux magnétiques (alors que nous parlons *d'aimantation thermorémanente*), soit pendant la croissance des minéraux magnétiques dans une roche en cours de diagenèse ou métamorphisme : il existe pour chaque minéral un volume critique au-delà duquel les grains ne réagissent plus au champ magnétisant, mais gardent l'aimantation que celui-ci leur a imposée jusque-là. Dans ce cas nous parlons *d'aimantation rémanente chimique*. Finalement, les grains de minéraux magnétiques qui se déposent pendant la sédimentation en milieu aqueux de roches détritiques, provenant d'une génération de roches préalable, ont la possibilité de s'orienter selon le champ magnétique local. La mesure en laquelle ils peuvent donner une aimantation préférée à la roche en cours de formation dépend de plusieurs facteurs, tels que le diamètre, forme et poids des particules magnétiques, leur intensité d'aimantation, et les conditions du milieu.¹ Il s'agit d'une *aimantation rémanente de dépôt*.

Du fait que son acquisition est déterminée par une baisse de température au-dessous d'une valeur critique relativement élevée (aimantation thermorémanente), ou par la croissance des grains magnétiques au-delà d'un volume critique (aimantation rémanente chimique), ou encore par la déposition orientée de particules déjà aimantées par l'un ou l'autre de ces processus, il en résulte que l'aimantation primaire est en général relativement stable,² et peut persister pendant des périodes d'ordre géologique tant que les conditions qui ont obtenu lors de son acquisition ne sont pas reproduites. Or, une roche sédimentaire gardera son aimantation primaire tant qu'elle n'est pas soumise à des remaniements chimiques (tels le métamorphisme et l'effet des intempéries)

touchant à ses minéraux magnétiques : à ce moment-là, son aimantation originelle sera remplacé par une nouvelle aimantation chimique; si par ailleurs elle est chauffée au-delà du point curie de ses minéraux, elle acquerra au refroidissement une aimantation thermorémanente, et ainsi de suite. Il va de soi que, si entretemps l'orientation de la roche relative au champ magnétique ambiant a subi un changement, la nouvelle aimantation n'aura plus la même direction que l'ancienne.

Aimantation secondaire

La discussion précédente se limite à l'aimantation primaire, ou au remplacement éventuel d'une aimantation primaire par une autre : chose qui, comme nous l'avons vu, ne se produira que s'il intervient un changement important des conditions (métamorphisme, refonte, etc.). Il n'en est pas moins vrai que, en général, cette aimantation primaire se laisse modifier, à un degré plus ou moins important selon les cas, pendant les grandes étendues des périodes géologiques. Une aimantation secondaire vient s'y greffer. Cette aimantation secondaire est dirigée tantôt selon le champ magnétique actuel, tantôt arbitrairement; ayant été acquise à des températures modérées et sans remaniement important de la roche, elle est en général moins stable que la composante primaire, et se laisse le plus souvent enlever par une technique de *désaimantation*. En principe, l'emploi de la désaimantation progressive nous permet, non seulement d'arriver à la composante que nous supposons dirigée selon le champ magnétique terrestre à l'époque où la roche s'est formée, mais aussi de faire l'analyse des composantes secondaires successivement éliminées par des traitements progressivement plus intenses (Fig. 9). S'il n'en est pas toujours ainsi, c'est le plus souvent parce que nous avons affaire à des minéraux (tels que l'hématite) à grande force coercitive dont la composante secondaire, une fois acquise, ne se rend pas volontiers à la désaimantation.

Aimantation rémanente naturelle

Or, dans son état naturel, une roche peut avoir une aimantation constituée d'une ou de plusieurs composantes, certaines desquelles pourront éventuellement être enlevées au laboratoire. Pour cette aimantation totale nous employons ici le terme *aimantation rémanente naturelle*.

Champ magnétique terrestre

Comme il est généralement connu, le champ magnétique actuel correspond en première approximation à un dipôle géocentrique dont l'axe fait un angle d'environ 11° avec l'axe de rotation de la terre. Le rapport entre les deux axes est sujet à une variation séculaire, de sorte que le «pôle magnétique» accomplisse de lents mouvements dans le voisinage du pôle géographique. Des observations directes faites pendant les derniers siècles, ajoutées aux résultats de mesures sur les laves et les argiles à varves du Quaternaire, suggèrent que la période de cette variation séculaire serait de l'ordre de quelques milliers d'années; en outre semble-t-il que la position moyenne de l'axe magnétique, considérée sur une durée comprenant plusieurs cycles séculaires (c. à d. d'ordre géologique) coïncide avec celle de l'axe de rotation. Cette dernière conclusion est appuyée par des considérations d'ordre hydrodynamique sur l'origine du champ terrestre. Si elle est valable pour la totalité du temps géologique nous pouvons, en faisant d'un affleurement donné un échantillonnage suffisamment compréhensif pour «moyenner» la variation séculaire, considérer que l'axe «moyen» du champ magnétique

ancien révélé par la roche en question coïncide avec l'axe de rotation de la terre à l'époque où cette roche s'est formée. Ainsi nous arrivons au concepte d'un *dipôle géocentrique axial*.

Pôle ancien virtuel³

A supposer que nous ayons suffisamment de données pour savoir, à partir de mesures sur une roche d'âge connu, la direction (déclinaison et inclinaison par rapport au réseau actuel) de l'ancien champ magnétique dans un endroit déterminé, l'ancien pôle peut être fixé par rapport à l'endroit en question.

a) *Distance* : La relation entre ψ , la distance angulaire qui sépare le site échantillonné de l'ancien pôle (c.à.d. la colatitude ancienne du site) et I , l'inclinaison ancienne mesurée sur la roche, est la suivante :

$$2 \cot \psi = \tan I$$

b) *Azimuth* : L'azimuth du pôle ancien correspond à la déclinaison de l'aimantation ancienne mesurée à partir du méridien actuel qui passe par le site.

Pour obtenir les coordonnées actuelles du pôle ancien, nous pouvons nous servir d'un réseau stéréographique.⁴ Il est à noter que ces coordonnées n'ont aucune signification sauf en rapport avec le site qui les a fournies : elles représentent la position du pôle ancien relative à cet endroit à l'époque en question et non point nécessairement celle de l'axe de rotation ancien relative à l'axe actuel. C'est pourquoi nous les appelons les coordonnées du *pôle ancien virtuel*.

Or, pour le Permien d'Amasra (par exemple), nous avons les données suivantes (Tabl.II)

$$\text{Déclinaison} = 292^\circ$$

$$\text{Inclinaison} = -14,8^\circ$$

L'inclinaison négative signifie seulement que dans ce cas l'endroit échantillonné s'écarte de plus de 90° de l'ancien pôle sud magnétique et l'aimantation par conséquent se dirige vers le haut. Nous avons donc :

$$\tan I = -0,26$$

$$\cot \psi = -0,13$$

$$\psi = 97,5^\circ$$

Les coordonnées géographiques d'Amasra sont $41,8^\circ\text{N}$ et $32,5^\circ\text{E}$. Après avoir retrouvé ce point sur le réseau stéréographique, en dessinant en même temps le méridien qui passe par là (Fig. 2), nous construisons à partir de ce point un grand cercle ayant un azimuth de 292° . L'ancien pôle virtuel se trouve alors à une distance de $97,5^\circ$ mesurée le long de ce grand cercle à partir du point donné. Ses coordonnées peuvent être retrouvées sur le réseau; elles sont $11,0^\circ\text{N}$ et $78,5^\circ\text{W}$. (Les coordonnées

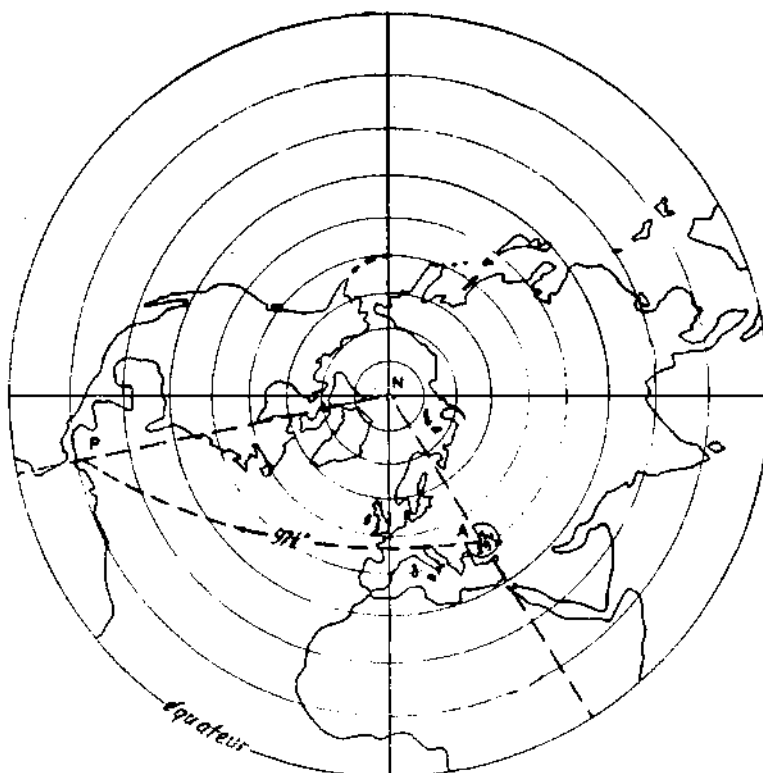


Fig. 2 - Ancien pôle virtuel pour le Permien d'Amasra.

A - Amasra; P - ancien pôle virtuel; N - pôle nord actuel.
Projection stéréographique.

du Tableau II sont celles de l'ancien pôle nord magnétique. Il y a des raisons pour croire que le champ terrestre permien aurait été inversé par rapport au champ actuel, et l'on donne généralement les coordonnées du pôle magnétique nord pour représenter le pôle nord géographique de cette époque. L'inversion du champ magnétique terrestre, en tant que phénomène, ne demande pas notre attention ici.)

Paléolatitudes et isoclines

A partir d'un ancien pôle virtuel nous pouvons construire, en dessinant des petits cercles à intervalles, les parallèles qui y correspondent. Ce sont les *paléolatitudes* de l'époque en question pour l'endroit (ou la région, s'il y a plusieurs endroits avec un pôle en commun) dont l'échantillonnage a servi pour fixer le pôle virtuel. (Voir par exemple la Figure 3, qui montre les paléolatitudes du Permien d'Europe, construites à partir des données du Tableau III.) Et puisqu'il y a (comme nous l'avons vu plus haut) une relation fixe entre latitude et inclinaison, nous pouvons également dessiner des courbes d'inclinaison égale. Ces dernières sont les *isoclines* de l'époque en question pour l'endroit ou la région à partir duquel le pôle virtuel correspondant a été établi.

Cette méthode de présentation de données paléomagnétiques a été développée par van Hilten (1962a). Elle est particulièrement commode pour la comparaison de données obtenues de différents sites : on n'a qu'à contrôler la correspondance entre l'inclinaison d'un site donnée et la situation du site par rapport aux isoclines. D'ailleurs, si la dé-

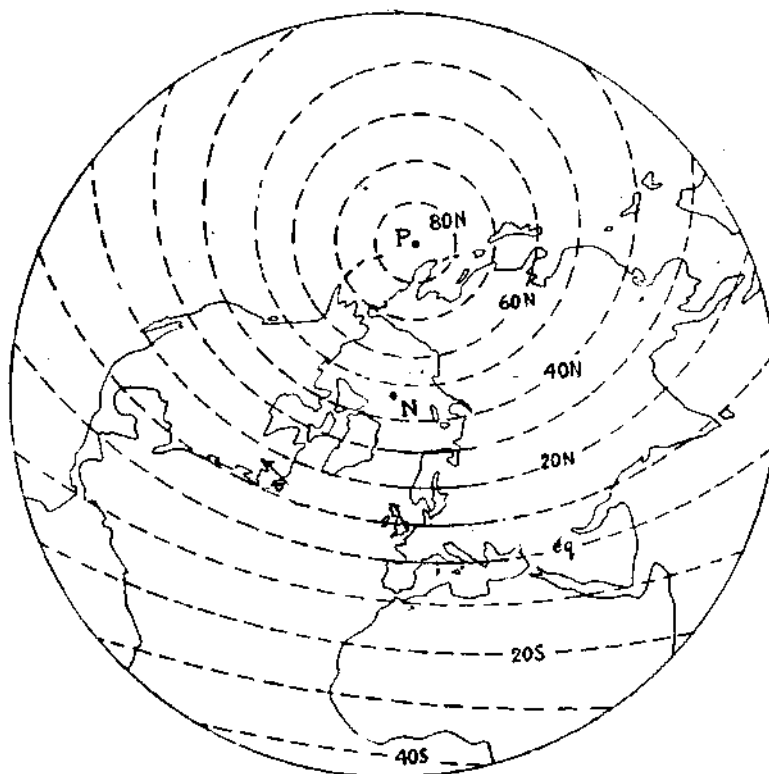


Fig. 3 - Paléolatitudes pour le Permien d'Europe.

N - pôle nord actuel; P - pôle permien virtuel pour l'Europe stable, établi à partir des données du Tableau III. Projection stéréographique.

clinaison du site est représentée par une petite flèche, l'on peut voir immédiatement si elle se conforme à la déclinaison correspondant au pôle virtuel, dont la direction fait toujours un angle droit avec l'isocline.

La Figure 19 représente les paléolatitudes et les isoclines correspondant au «pôle virtuel moyen» pour le Permien de l'Europe (régions stables du bouclier). Elle est construite à partir des données reportées sur le Tableau III. Comme nous l'avons expliqué plus haut, l'on suppose que le pôle nord magnétique correspondait, à cette époque, au pôle nord géographique. La région d'Amasra est marquée, et sa déclinaison et inclinaison permienne sont indiquées de la manière conventionnelle. L'on voit facilement que, tandis que l'inclinaison de $-14,8^\circ$ se conforme à peu près au champ magnétique ancien de l'Europe, il n'en est pas de même pour la déclinaison, qui s'écarte d'environ 80° du méridien ancien de cet endroit.

Reconstructions

Des considérations esquissées ci-devant il ressort que le paléomagnétisme nous fait connaître, dans des conditions favorables, la distance angulaire du pôle ancien d'un terrain déterminé, ainsi que sa direction. Autant dire, la distance et orientation du terrain par rapport au pôle ancien. Ces deux renseignements nous permettent de situer ledit terrain sur la bonne paléolatitudes et de l'orienter correctement vis-à-vis du pôle ancien, ce qui est déjà un grand pas en avant dans les reconstructions paléogéogra-

phiques. Malheureusement, à moins de posséder un registre paléomagnétique s'étendant sur plusieurs périodes géologiques (van Hilten, 1964a), nous ne pouvons toujours pas fixer son ancienne longitude. Pour celle-ci, et donc pour la solution définitive de maints problèmes touchant sur les relations spatiales des unités de la croûte terrestre dans le passé géologique, force nous est de nous appuyer sur d'autres branches de la géologie, telles la paléontologie, stratigraphie, géologie structurale, etc.

Nous avons parlé jusqu'ici d'un pôle ancien virtuel en rapport avec «un endroit», «une région», etc. Quand, à la suite d'un certain nombre d'études paléomagnétiques en diverses régions d'une unité continentale, nous trouvons les pôles virtuels pour une époque déterminée tous réunis en un groupe bien net, il est raisonnable d'assumer que cette partie de l'écorce formait aussi bien une unité tectonique à l'époque dont il est question, et qu'elle est demeurée telle depuis lors. Or, pour l'Europe du nord-ouest nous avons les 6 pôles permien mentionnés dans le Tableau III, déterminés à partir de quatre régions bien séparées : deux en France, une en Allemagne et une en Norvège. L'accord entre les pôles ne laisse aucun doute que ces quatre régions sont toutes situées sur un même bloc stable de l'écorce, et qu'elles ont gardé leurs positions relatives les unes aux autres depuis au moins le Permien. Quand nous parlons des «isoclines permien de l'Europe», cela implique la cohérence, depuis les temps permien, d'au moins la majeure partie du continent européen.

Réduite aux termes les plus simples, la reconstruction paléomagnétique consiste en des manipulations visant à faire coïncider les pôles virtuelles des différentes unités tectoniques pour une même époque géologique. Autrement dit, nous essayons d'amener en rapport les paléolatitudes (ou isoclines) des différentes unités de l'écorce continen-

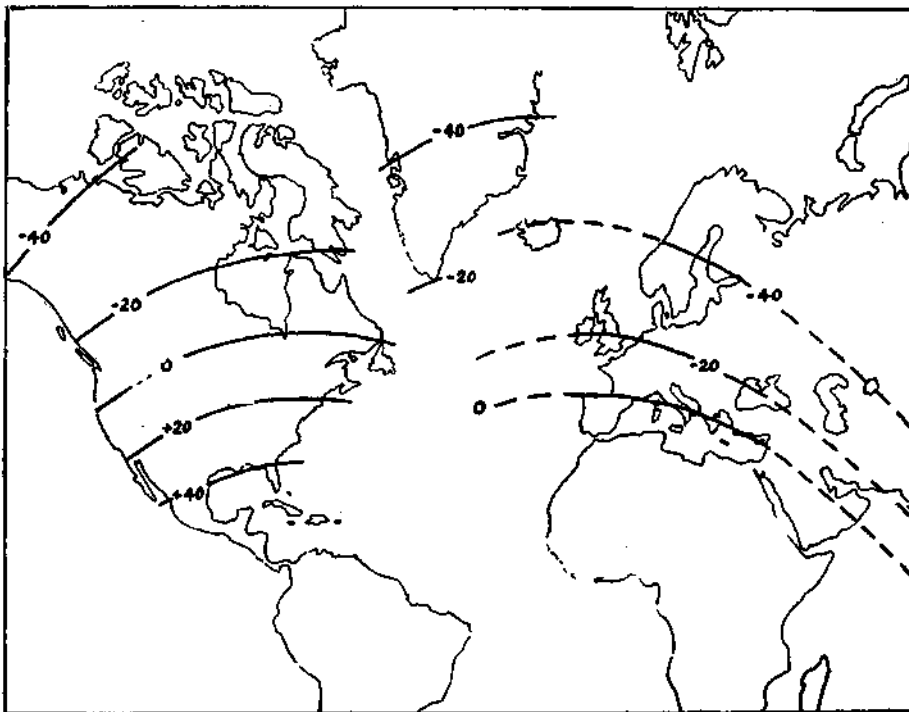


Fig. 4 - Isoclines permien pour l'Amérique du Nord, Groenlande et Europe.
Projection Mercator. (Modifié d'après van Hilten, 1962a, p. 409.)

tale : de compléter, autant que possible, les petits cercles fragmentaires dont des arcs sont dessinés sur les continents comme* des repères sur les morceaux d'un puzzle; un puzzle, bien entendu, dont la plupart des pièces manquent, puisque les continents en leur totalité n'occupent que le tiers de la superficie du globe (Fig. 4).

— II —

PROCÉDÉS

Prélèvement d'échantillons

Les échantillons furent prélevés, après mesure *in situ* de leur orientation, de la manière suivante :

Un affleurement aussi frais que possible (escarpement, déblai de route, lit de rivière ou autre entaille naturelle) est à rechercher, ou la roche est bien conservée et la structure nettement visible. Une surface relativement plate est alors choisie pour l'orientation, de préférence sur un petit morceau de roche saillant qui sera facilement enlevé après mesure. La direction et pendage de cette surface sont mesurées à l'aide d'une boussole-clinomètre, et immédiatement marqués sur la roche avec deux traits de canif. Ensuite la direction et pendage des lits (si la surface choisie n'est pas elle-même un plan de stratification) sont mesurés et notés. L'échantillon, dont le volume est généralement entre 500 et 1000 cm³, peut maintenant être dégagé avec des coups judicieux du marteau. Le ciseau à froid est un accessoire souvent utile à ce stade de l'opération. La surface peut être légèrement nettoyée avec une vieille brosse à dents avant d'y coller une bande de plâtre adhésif, son bord parallèle à la direction. Direction et pendage sont marqués sur le plâtre avec un stylo à bille, ainsi que la direction et pendage des lits et le numéro de l'échantillon.

Mesures

Les mesures furent exécutées sur un magnétomètre astatique du type vertical développé par J. As (1960). Pour un traitement théorique détaillé de l'instrument nous renvoyons à l'ouvrage cité.

Préparation des échantillons

Après avoir été réduits à des cubes approximatifs (pour éviter autant que possible des effets parasites dus à leur forme irrégulière) les échantillons (dont le volume final, de 100 à 300 cm³, est mesuré par immersion pour calcul éventuel de l'intensité d'aimantation) sont figés dans des cubes de paraffine de 1000 cm³, orientés de telle sorte que les arêtes du cube correspondent aux directions NS, WE et verticale sur le terrain. Les faces du cube sont marquées afin de retrouver plus tard l'orientation de l'échantillon.

Magnétomètre : principe

Le mécanisme essentiel du magnétomètre consiste en une petite tige de quartz qui porte à ses extrémités deux aimants parallèles mais dirigés en sens opposé, à mo-

ments quasi-égaux, Entre les aimants est placé un petit miroir, et le tout est suspendu du bout d'un long fil en nylon de 5 microns de diamètre et dont le coefficient de torsion peut être négligé (Fig. 5). Pour comprendre sa mode d'opération, il suffit de tenir compte de deux choses seulement :

- 1) Il réagit au champ provoqué par la composante verticale de l'aimantation à être mesurée ;
- 2) Il utilise comme force restauratrice le champ magnétique ambiant du laboratoire.

Considérons l'effet de chacun des trois composantes orthogonales de l'aimantation d'un corps homogène placé dans un plan perpendiculaire à celui du système et à distance égale des deux aimants. (Voir la Figure 6, où le champ magnétique dû à ce corps est représenté schématiquement par des «lignes de force» imaginaires passant par les pôles des deux aimants du magnétomètre.)

a) La composante NS horizontale est sans effet, puisqu'elle ne donne naissance qu'à des forces équilibrées par le poids ou la rigidité du système.

b) La composante WE horizontale donne naissance, entre autres, à deux couples horizontaux antagonistes. Si les moments des deux aimants étaient égaux (ce qui est vrai à moins de 0,1 pour cent près) il est évident que, vue la rigidité du système, cette composante resterait également sans effet visible. De fait, comme nous le venons par la suite, son effet minuscule est annulé par la manière dont les mesures sont effectuées.

c) Composante verticale. Les forces ici peuvent être résolues en des composantes tendant à tordre ou à soulever le système, et en deux couples horizontaux qui tendent à le faire tourner autour de son axe vertical. C'est cette dernière composante qui est mesurée.

Quand l'appareil est gardé à l'abri d'influences perturbatrices, les aimants s'alignent parallèlement au champ magnétique du laboratoire, le plus fort des deux dirigé vers le nord ; quand un corps aimanté est placé devant le système, celui-ci subit une déflexion dont l'ampleur est proportionnelle à la composante verticale de l'aimantation de ce corps. Un arrangement de leviers optiques fait paraître sur le réticule d'un télescope l'image d'un point sur une échelle éclairée (Fig. 7). En se servant d'un aimant supplémentaire placé à côté, l'opérateur peut modifier à son gré l'orientation du système en repos ; et à l'aide d'une bobine dont le moment magnétique est connu pour un courant déterminé, l'appareil peut être calibré.

Sensibilité

Lors d'une mesure, la déflexion du système est maintenue par l'équilibre de deux couples antagonistes : l'un dû au champ magnétique associé avec l'objet mesuré, et l'autre au champ magnétique ambiant. Le premier est proportionnel au moment magnétique m de l'un des deux aimants, le second à la différence m entre le moment

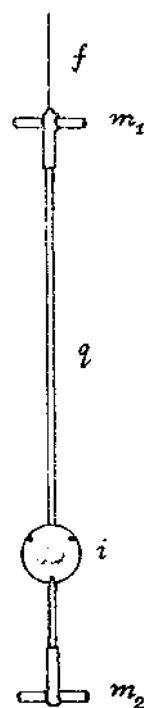


Fig. 5 - Magnétomètre : mécanisme.

f - fil en nylon; m_1, m_2 , aimants; i - miroir; q - tige en quartz.

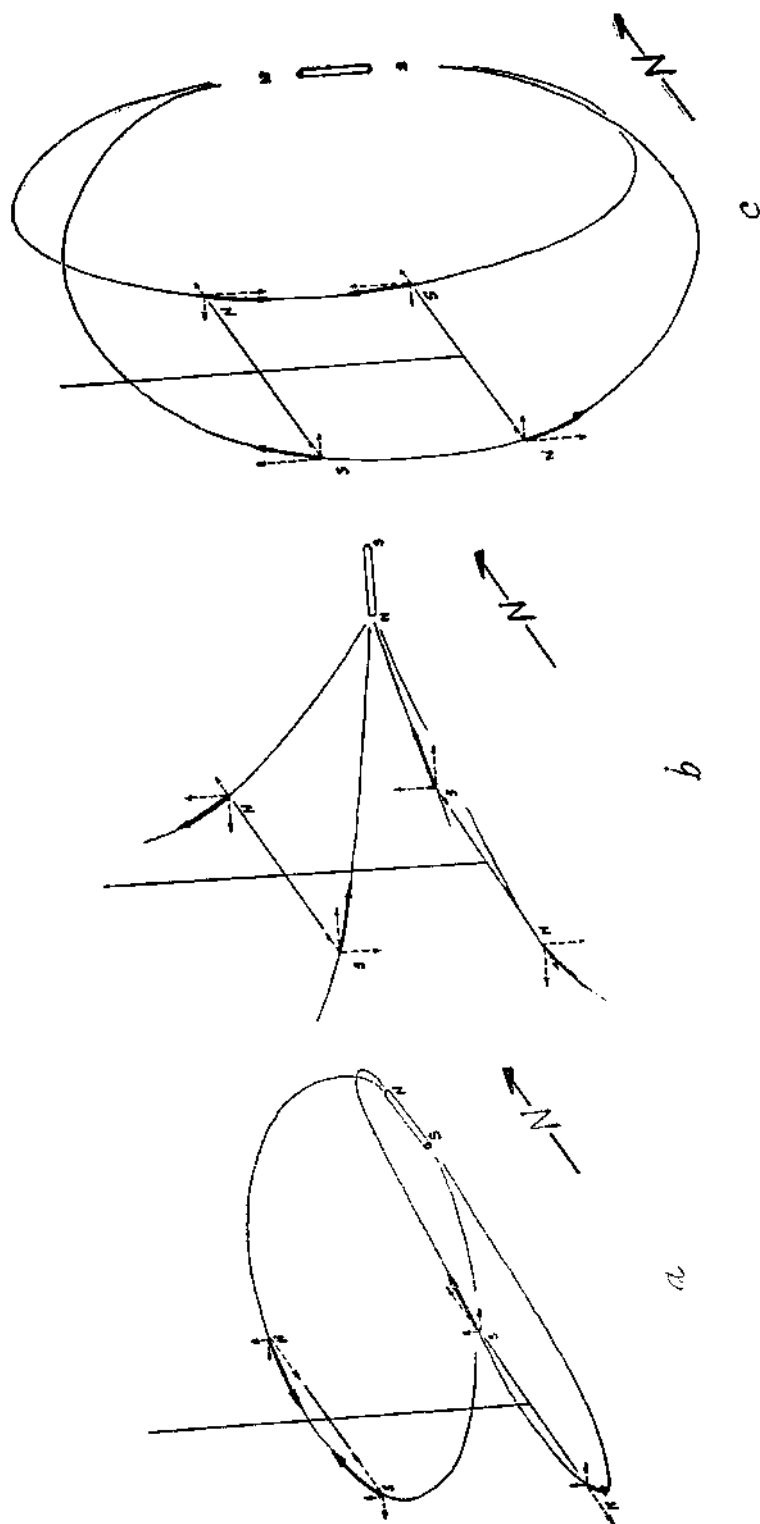


Fig. 6 - Magnétomètre. Effet provoqué par un corps aimanté.
 Afin de ne pas obscurcir la résolution des forces agissant sur les pôles des aimants, ces derniers et la tige qui les porte ne sont représentés que schématiquement.

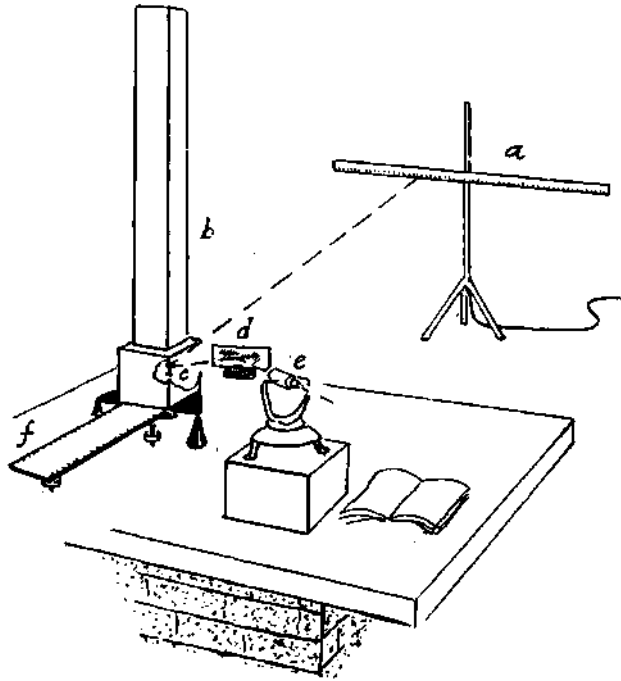


Fig. 7 - Magnétomètre : système optique.

a - échelle éclairée; b - magnétomètre; c - miroir du magnétomètre; d - miroir supplémentaire; e - télescope; f - plateau pour échantillon.

de l'un et celui de l'autre. De là il s'ensuit que, plus m est diminué par rapport à m , plus la sensibilité devient grande.

Un aimant, librement suspendu dans un champ magnétique, exécutera des oscillations d'ampleur diminuante jusqu'à ce qu'il s'arrête en se dirigeant parallèlement au champ en question. La période T des oscillations est donnée par

$$T = 2 \pi \sqrt{\frac{I}{m.H}}$$

où I représente le moment d'inertie et m le moment magnétique de l'aimant. Pour le système asiatique nous substituons m pour m et constatons, en ce faisant, que la période du système croît en mesure inverse de la racine carrée de m . Autrement dit, ce que nous gagnons en sensibilité en diminuant m , nous le payons en la durée augmentée des mesures. Beaucoup d'effort a été consacré au développement de systèmes asiatiques légers utilisant des aimants très-courts, voire sphériques : car en diminuant I , le moment d'inertie du système, nous avons un moyen de réduire T , la période, à une durée convenable sans pour autant nuire à la sensibilité de l'instrument.

La sensibilité utile de l'appareil est de l'ordre de 10^{-7} unités électromagnétiques par cm^3 de l'échantillon. Pour profiter de cette sensibilité, les précautions à prendre sont assez nombreuses et délicates ; le laboratoire d'Utrecht est installé dans le sous-sol d'une ancienne forteresse, à quelques km de la ville. Aucun objet ferromagnétique ne doit être introduit dans la salle de mesures, ce qui pose maints problèmes de construction et garniture, et les magnétomètres sont placés bien à l'abri du réseau électrique.

Aimantation induite: valeur Q

La présence du champ terrestre dans l'espace occupé par l'échantillon fait naître en celui-ci une aimantation induite, dont la composante verticale s'ajoute à celle de l'aimantation rémanente que nous voulons mesurer. L'inversion de l'échantillon pendant les mesures, bien entendu, nous permet de retrancher cette aimantation induite (qui se dirige toujours dans le même sens) à l'aimantation totale, et d'arriver par différence à l'aimantation rémanente (Fig. 8). Mais le bien-fondé du résultat est d'autant plus grand que le chiffre à retrancher reste petit. Des considérations de cet ordre ont amené Königsberger (1938) au concept de la «valeur Q», où Q représente le rapport entre les intensités d'aimantation rémanente et induite. Pour le magnétomètre qui nous intéresse ici, nous avons donc

$$Q = \frac{J_r}{K.H_z}$$

où J_r représenté l'intensité d'aimantation rémanente, K la susceptibilité de la roche, et H_z la composante verticale du champ magnétique du laboratoire. La valeur Q est une mesure approximative de la confiance que l'on peut mettre, d'un point de vue paléomagnétique, dans une roche déterminée.

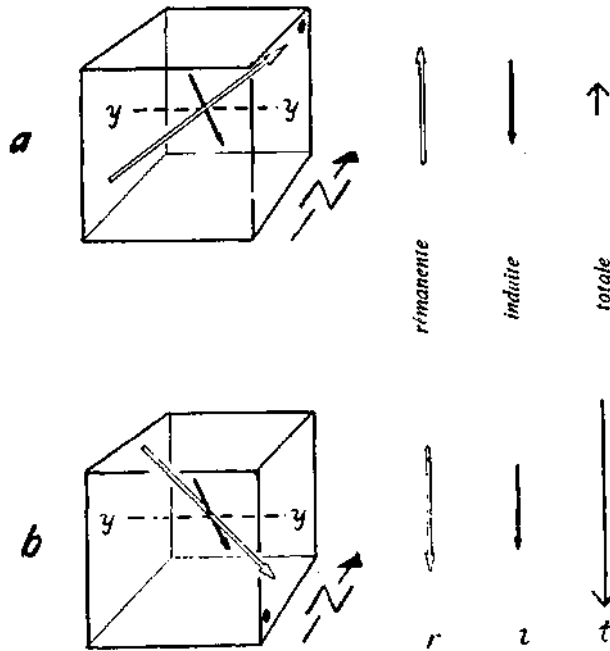


Fig. 8 - Aimantation rémanente et induite.

A gauche : échantillon en position de mesure.

A droite : composantes verticales d'aimantation rémanente (r) et induite (i), et de l'aimantation totale (t) qui est mesurée. Entre a et b l'échantillon est retourné de 180° autour de l'axe y . Le vecteur d'aimantation rémanente tourne avec la roche; celui de l'aimantation induite (qui se dirige selon le champ magnétique ambiant) ne se déplace point. Donc, nous avons :

Pour la position a : $r - i = t_a$;

Pour la position b : $r + i = t_b$;

Additionnant, $2r = t_a + t_b$

Mesures

Pour les mesures, l'échantillon, dans son cube en paraffine, est placé sur un petit plateau à côté du magnétomètre (Fig. 7), à une distance convenable du système astatique et à la hauteur du centre de celui-ci. L'on note la déflexion provoquée par le cube en chacune de 24 positions : ce qui permet d'annuler, non seulement l'effet de l'aimantation induite (six positions suffisant pour ceci), mais aussi la plupart de ceux dus aux asymétries géométrique et magnétique de l'échantillon. En plus, comme nous l'avons vu plus haut (Fig. 6b), il y a un effet minuscule de l'une des composantes d'aimantation perpendiculaires à celle qui est mesurée en une position donnée, dû à l'inégalité des moments des deux aimants. Douze des 24 mesures servent à annuler ce petit effet. Ces 24 observations sont effectuées en 4 groupes de 6, espacés par des mesures à vide qui permettent de tenir compte de la dérive du magnétomètre due à des petites fluctuations inévitables de température, champ magnétique, etc.

Les mesures s'accomplissent assez rapidement grâce à la construction astucieuse du magnétomètre, qui réunit une courte période avec la sensibilité requise. En général, 20 secondes suffisent pour chaque position, ou environ 10 minutes pour une série complète de mesures sur chaque échantillon

Désaimantation

Comme nous l'avons déjà indiqué, les composantes dites «secondaires» de l'aimantation rémanente cèdent en général à la désaimantation assez facilement pour que l'on puisse faire une «analyse magnétique» de l'échantillon. A l'époque actuelle, cette désaimantation⁵ est pratiquée à Utrecht en faisant subir à l'échantillon l'effet de champs magnétiques alternatifs d'ampleur croissante, avec mesure de l'aimantation rémanente après chaque traitement.

L'échantillon est placé (toujours dans son cube en paraffine) à l'intérieur d'une bobine verticale de dimensions suffisantes au milieu de 3 paires de bobines Helmholtz qui servent pour annuler le champ magnétique terrestre. Un courant alternatif, de fréquence soigneusement purifiée d'harmoniques d'ordre pair par un système de filtres, est passé pendant un court laps de temps (10 secondes environ) à un voltage qui correspond au champ magnétique désiré. Le voltage est contrôlé par trois transformateurs variables en série, ce qui permet de le faire diminuer à une valeur négligeable avant de couper le circuit. On le laisse croître graduellement de zéro, le maintient pendant les 10 secondes à la valeur désirée, et le retourne graduellement à zéro en utilisant les trois transformateurs l'un après l'autre. Ensuite, l'échantillon est retourné pour amener un second axe orthogonal du cube parallèle à la bobine, et le traitement est répété : et ainsi encore une troisième fois pour le troisième axe. L'échantillon est alors rémesuré sur le magnétomètre, et la désaimantation répétée dans un champ plus intense : et ainsi de suite, jusqu'à ce que les renseignements rendus semblent suffisants pour une analyse complète, ou (comme il arrive assez souvent) l'on atteint la limite d'intensité praticable.⁶

Les mesures successives faites pendant la désaimantation d'une roche donnent une série de résultats qu'on peut exprimer avec un vecteur qui représente la direction et intensité de l'aimantation rémanente de la roche. Le comportement: croissance ou décroissance, changement de direction de ce vecteur nous renseigne quant à la «composition magnétique» de la roche. Pour mieux l'étudier, nous le suivons en projection orthographique, nous référant aux faces du cube en paraffine et utilisant le plan horizontal et l'un des deux plans verticaux comme plans de projection. De fait, il est commode de combiner les deux projections en un seul diagramme, le même axe servant pour indiquer l'une des deux directions horizontales et la verticale. Nous représentons alors les positions successives du bout de notre vecteur par des petits cercles ouverts (plan vertical) et noirs (plan horizontal). La Figure 9 montre le comportement d'un vecteur imaginaire à cinq étapes d'une désaimantation progressive. Le point 0 correspond à l'aimantation rémanente naturelle de la roche, 1 à l'aimantation qui reste après le premier traitement, et ainsi de suite.

Il est à noter que les points 0, 1 et 2 se situent sur une ligne droite; 4 et 5 se trouvent également sur une ligne droite qui passe par l'origine. Les étapes 1 et 2 représentent des étages successifs de l'enlèvement d'une première composante, qui est complètement supprimée entre les étapes 3 et 4. Entre 2 et 4 le vecteur dessine un virage qui représente la désintégration naissante d'une seconde composante superposée sur l'épuisement de la première. Après 4 cette nouvelle composante, «purifiée» de la première, continue à décroître toute seule, et le vecteur se rétrécit de nouveau en ligne droite. Si la désaimantation était continuée jusqu'à l'élimination complète de l'aimantation rémanente, cette ligne passerait éventuellement par l'origine, montrant ainsi que la seconde composante n'était accompagnée d'aucune autre, à part celle supprimée par les premiers traitements.

Les diagrammes de désaimantation sont tous plus ou moins comparables à ce modèle, suivant la complexité des cas. Souvent le vecteur se comporte d'une façon

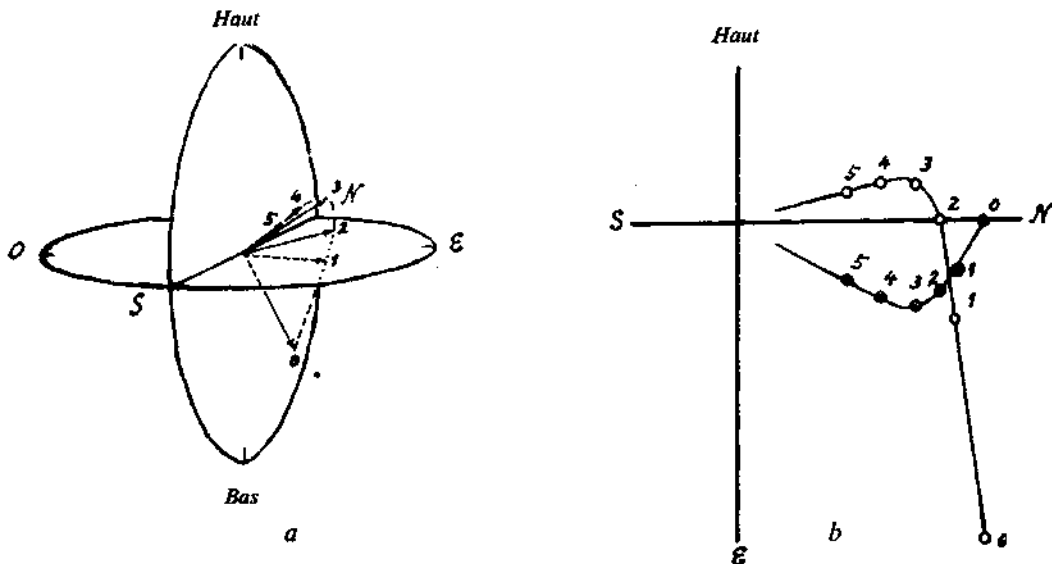


Fig. 9 - Désaimantation progressive. Evolution du vecteur d'aimantation rémanente.

a - Positions et longueurs successives du vecteur, figurées en trois dimensions; b - Positions successives de l'extrémité du vecteur rapportées en projection orthographique sur le plan N-S-verticale (cercles ouverts) et le plan horizontal (cercles noirs).

irrégulière, laissant derrière lui une piste tortueuse qui refuse de se diriger vers l'origine; des fois il s'obstine à rester sur place malgré les efforts déployés pour le raccourcir. Quand il se rétrécit en ligne droite vers l'origine, on peut assumer qu'il ne reste dans la roche qu'une seule composante magnétique; quoique nous ne puissions être absolument sûrs que celle-ci représente le champ magnétique à l'époque de la mise en place,⁷ il y a néanmoins de fortes chances qu'il en soit ainsi.

Il arrive assez souvent que le vecteur diminue en dessinant une ligne droite qui, quoique dirigée dans le sens général de l'origine, n'y passe quand même pas tout à fait. Ce comportement (dont nous retrouvons un exemple dans la Figure 15) pourrait s'expliquer par une asymétrie magnétique due, soit à une aimantation non-homogène de l'échantillon, soit à l'asymétrie géométrique de l'échantillon lui-même. Encore pourrait-il être dû à la présence continuée d'une composante supplémentaire.

Aimantation caractéristique

En défaut de preuves concluantes quant à la nature primaire de la composante résiduelle révélée par désaimantation progressive, nous adoptons pour cette composante le nom d'«*aimantation caractéristique*.» Quand nous retrouvons la même composante résiduelle dans plusieurs roches prélevées d'un emplacement donné, nous parlons de l'aimantation caractéristique de cet emplacement; et quand il s'agit de plusieurs emplacements dans une région, le même concepte s'étend tout naturellement à l'échelle régionale. Plus une aimantation caractéristique est répandue dans une région donnée, plus nous pouvons nous y fier pour la direction du champ terrestre à l'époque de la mise en place des roches en question.

Correction tectonique

La direction de l'aimantation rémanente, puisque celle-ci est figée dans la roche au temps de sa formation, suivra naturellement tout changement d'orientation qui pourra venir la déranger par la suite. Il est donc nécessaire, avant de discuter des orientations primaire ou caractéristique, d'y apporter une *correction tectonique*.

Dans le paléomagnétisme, l'on néglige généralement de tenir compte de pendages primaires de dépôt : ce qui ne semble pas introduire de trop grandes erreurs. La correction alors consiste à faire tourner le vecteur d'aimantation autour d'un axe parallèle à la direction des couches, par un angle qui correspond au pendage et dans le sens inverse de celui-ci. Cette opération s'accomplit facilement à l'aide du réseau stéréographique.

Stabilité magnétique. Test de Graham

Tandis que les régions de déformation intense sont à éviter pour le danger qu'elles présentent d'incorporation dans les résultats d'effets magnétiques datant de la tectonisation (tels que, la magnétostriction, par exemple, sinon des aimantations chimiques de métamorphisme), ou pour la difficulté même des mesures de direction et pendage, il n'en reste pas moins que la tectonique modérée peut fournir une indication précieuse quant à la stabilité d'une aimantation caractéristique, et, par conséquent, au bien fondé

des conclusions qui en dépendent. Graham (1949) a montré que, si les directions obtenues des deux flancs d'un pli coïncident après correction tectonique (c. à. d. après «dépliage» de la structure), l'on peut assumer que l'aimantation correspondante a été acquise avant la déformation et qu'il s'agit donc d'une aimantation stable. Ce critérium de stabilité est d'une grande importance.

Considérations statistiques. Cercle de confiance

Fisher (1953) a développé une méthode de statistique spécialement adaptée au paléomagnétisme; il ne nous incombe ici que d'expliquer le calcul de la direction moyenne et la signification du symbole a_{95} qui figure dans les Tableaux II et III.

Donné un groupe de directions d'aimantation dont chaque individu correspond à un échantillon orienté, nous voulons estimer la moyenne, et nous faire une idée du degré de confiance que nous pouvons reposer en notre estimation. L'intensité d'aimantation n'entre pas dans le calcul : seule la direction compte; nous avons ainsi un groupe de vecteurs unités. La méthode de Fisher présuppose deux conditions, à voir :

- 1) La distribution des vecteurs autour de la moyenne est symétrique;
- 2) La densité décroît à mesure que l'on s'éloigne de la moyenne.

(En effet, ce sont des conditions analogues à celles de la distribution normale de Gauss sur un plan.) Dans ces conditions, la meilleure évaluation de la moyenne est donnée par la somme de tous les vecteurs du groupe. Ecrivant pour la déclinaison de chaque individu D , et pour l'inclinaison I , et prenant les axes cartésiennes X (nord), Y (est) et Z (verticale), nous avons pour n vecteurs,

$$x_R = \sum_n \cos I_i \cdot \cos D_i$$

$$y_R = \sum_n \cos I_i \cdot \sin D_i$$

$$z_R = \sum_n \sin I_i$$

R , la longueur du vecteur résultant, D_R , son déclinaison, et I_R , son inclinaison, sont données par

$$R = \sqrt{x_R^2 + y_R^2 + z_R^2}$$

$$\sin I_R = \frac{z_R}{R} \qquad \tan D_R = \frac{y_R}{x_R}$$

Pour juger de la précision de cette moyenne estimée, nous choisissons une probabilité P que la vraie moyenne se situe en dehors d'un cercle de rayon angulaire α dessiné autour d'elle. Alors,

$$\cos \alpha (1-P) = 1 - \frac{n-R}{R} \left[\left(\frac{1}{P} \right) \frac{1}{n-1} - 1 \right]$$

Il importe de se rappeler que la moyenne et le cercle de confiance ainsi obtenus s'appliquent aux résultats d'une série de procédés pratiques, et que la méthode statistique

ne tient nullement compte du bien-fondé de ceux-ci. Or, le cercle de confiance ne contient pas nécessairement la bonne direction : tout ce qu'il signifie, c'est que, si l'échantillonnage et les mesures étaient continués de la même manière indéfiniment, la moyenne ainsi trouvée aurait 1 — P chances sur 1 de se trouver là-dedans. Ce fait ne comporte en lui-même aucune garantie quant aux conclusions d'ordre paléomagnétique qu'on en tire. Par ailleurs, il sera évident que la dispersion des vecteurs ne dépendra pas que d'erreurs d'échantillonnage et de mesure. Par exemple, une série d'échantillons, pris de différents niveaux d'une formation dont la puissance totale représente une intervalle de quelques milliers d'années, témoignera fatalement de la variation séculaire du champ magnétique : tandis qu'un groupe prélevé d'une coulée de lave de la même épaisseur pourrait, au moins théoriquement, donner une série de directions identiques. Dans ces deux cas, tout dépend de ce que nous entendons par une « population » d'échantillons, dans le sens statistique du mot.

Dans la présente étude, nous avons un certain nombre d'échantillons prélevés de trois sites différents. Dans des cas pareils (et idéalement toute étude visant à fixer un ancien pôle pour une époque et une région données devrait se baser sur un échantillonnage de plusieurs sites), il est préférable de calculer la direction moyenne pour chaque site et ensuite de moyenner les directions des différents sites, donnant à chaque site la même importance sans tenir compte du nombre d'échantillons qu'il a fourni. Ainsi l'on évite autant que possible d'introduire dans la moyenne globale un biais, si tel existe, associé à un site ayant fourni un nombre disproportionné d'échantillons. Or nous avons adopté ici la moyenne des trois sites plutôt que celle de l'ensemble d'échantillons sans égard pour leur distribution. Comme le montre le Tableau II, la différence est en tout cas petite, quoique le rayon du cercle de confiance croît à cause de la faible valeur de n (nombre de sites = 3) dans le calcul final.

Outre l'ouvrage de Fisher nous pouvons citer, pour discussions des problèmes de statistique en paléomagnétisme, celui de Cox & Doell, duquel nous avons adapté le bref exposé ci-dessus, et les articles de Watson (1956) et Watson & Irving (1957).

— III —

PALÉOMAGNÉTISME DU PERMIEN D'AMASRA

Géologie de la région d'Amasra

La région étudiée se trouve à l'est de Zonguldak sur la Mer Noire, aux environs de 41°48'N et 32°27'E. Elle est donc située au nord de la chaîne pontide, à une distance d'environ 75 km de la grande zone de failles horizontales qui longe l'Anatolie du nord, de la Mer de Marmara jusqu'au lac Van (Fig. 10). La géologie de la région d'Amasra a fait l'objet d'une étude détaillée par M. Tokay (1955, 1962). Dans la partie qui nous intéresse, la série attribuée au Permien repose, sans discontinuité visible, sur les grès rouges du Carbonifère supérieur (Stéphanien) d'âge bien précisé, étant recouverte à son tour en discordance par les calcaires du Crétacé, qui débute avec un banc compact d'âge barrémien environ 100 m d'épaisseur. Ce dernier forme un escarpement proéminent là où il affleure.⁸

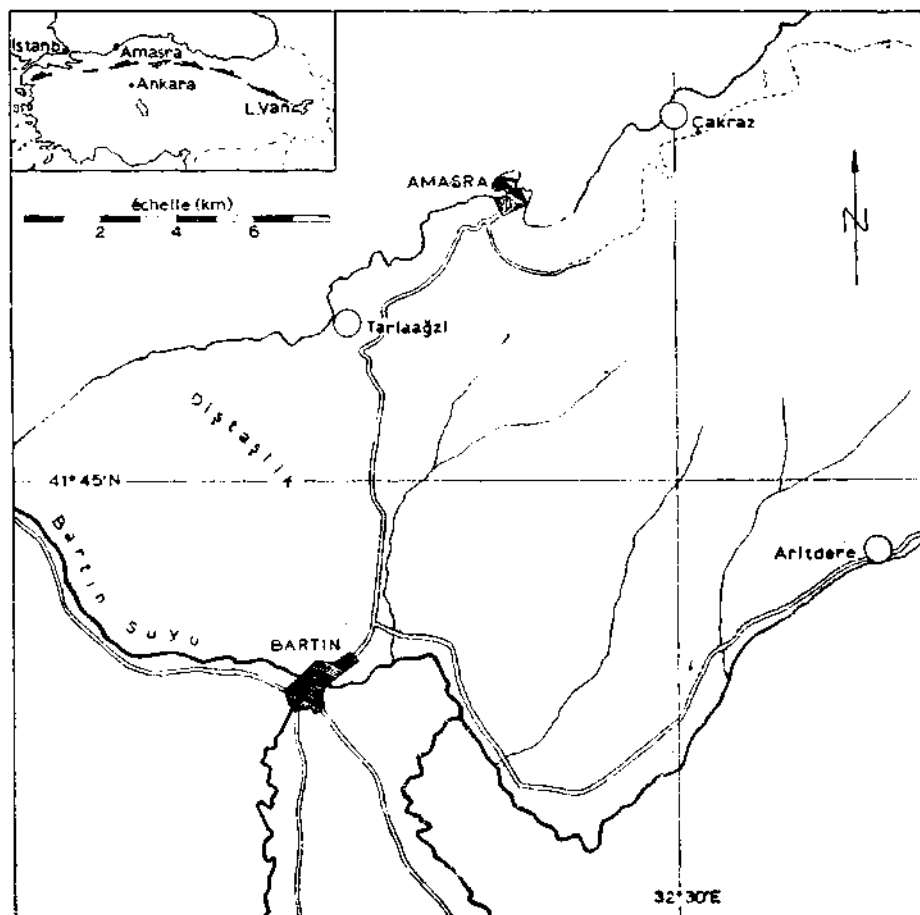


Fig. 10 - Carte de la région d'Amasra.

(Les sites de Çakraz, Tarlaağzı et Arıdere sont marqués avec des cercles.)

Le Permien ici consiste en une alternance de grès et schistes (shales) quartzeux à hématite, avec quelques lits de couleur verte mais pour le reste semblables aux précédents. A Çakraz et à Arıdere sa puissance est de l'ordre de 100 à 150 m; mais il va en s'amincissant vers l'ouest, n'ayant à Tarlaağzı que la moitié de cette épaisseur. Il manque d'indications concluantes quant à l'âge exact de cette formation; Y. Ergönül (communication verbale) la place dans le Saxonien.

La région a subi l'influence successive des mouvements orogéniques hercyniens et alpins. Lors des premiers, le soulèvement de l'anticlinorium de Diştaşlık à l'ouest du bassin de Tarlaağzı-Amasra a provoqué des glissements par gravité, de caractère local, de plusieurs masses des sédiments paléozoïques tardifs. Ce phénomène a pu persister, sporadiquement, jusqu'aux temps permien. Une reconstruction par M. Tokay de la tectonique compliquée qui en résulte a valu à la Turquie la découverte d'une réserve très considérable de charbon. Lors du commencement de nos travaux sur le terrain nous avons eu soin de choisir, outre l'affleurement de Tarlaağzı (qui nous avait été signalé préalablement), deux autres localités se trouvant bien à l'écart de l'influence de cette «tectonique par gravité»; de fait, comme le montreront plus bas les résultats, cette précaution s'est avérée être superflue. Les mouvements alpins (d'âge essentiellement

éocène et oligocène) ont eu pour résultat la formation d'une série de plis dirigés SW-NE, dont les axes contrastent avec ceux des structures hercyniennes, qui sont orientées approximativement WNW-ESE. Le pays est tranché par un certain nombre de failles normales et inverses, les premières surtout dans la région de Tarlaağzı-Amasra.

Pétrographie

Les roches échantillonnées étaient toutes des grès à grain fin, à hématite, avec quartz anguleux ou subanguleux et une proportion variable de calcite. L'hématite, qui d'habitude ne dépasse pas les 5 pour-cent par volume, se montre en grains et en agrégats granulaires, aussi bien qu'en une couche mince sur les grains de quartz, comme ciment interstitiel. Parmi les minéraux accessoires nous comptons : biotite verte, muscovite, séricite, chlorite, et feldspath (andésine) en cours d'altération.

Les échantillons de Çakraz et de Tarlaağzı (TO13-TO26) sont caractérisés par la présence de calcite interstitielle abondante et de quelques veines du même minéral, sans doute déposée par l'eau d'infiltration venant du calcaire barrémien superposé. Les échantillons de Tarlaağzı contiennent en plus de la calcite détritique et des fragments de structures organiques. Les grains d'hématite des échantillons TO13-TO15 (Çakraz) sont plus grands et moins nombreux que ceux de TO16-TO18 de la même localité; il est fort possible que la différence en propriétés magnétiques entre ces deux groupes d'échantillons (différence sur laquelle nous reviendrons plus loin) se rapporte à cette observation. La calcite est beaucoup moins abondante dans les roches d'Antdere que dans celles des deux autres localités. L'affleurement d'Antdere est éloigné de quelques km des calcaires les plus proches. Si nous pouvons de ce fait conclure qu'il est depuis plus longtemps exposé aux intempéries que ceux de Çakraz et de Tarlaağzı, il semble raisonnable de supposer que, si autrefois cette roche aussi contenait sa part de calcite secondaire, celle-ci a été emportée depuis lors par l'eau d'infiltration.

Mesures et désaimantation

Les résultats des mesures sont résumés dans le Tableau I et rapportés sur les stéréogrammes (Figs. 11a-14). Les premières mesures ont révélé les aimantations rémanentes naturelles, c. à. d. la direction et intensité de l'aimantation rémanente intégrale de chaque échantillon à son état primitif après transport, emmagasinage et préparation pour mesure, mais sans autre -traitement. Dans la plupart des cas cette aimantation rémanente naturelle avait une déclinaison dirigée vers l'WNW et des inclinaisons aussi bien négatives que positives.⁹ Son intensité variait entre $0,6 \times 10^{-6}$ et $20,6 \times 10^{-6}$ unités électromagnétiques par cm^3 .

Tous les échantillons furent soumis à la désaimantation progressive en champ magnétique alternatif. Quelques exemples de leur comportement sont fournis par les Figures 15 à 18, où la position du vecteur magnétique à chaque stade est rapportée sur les graphiques.

Çakraz (échantillons TO13-TO18; Fig. 11 et 15)

Les six échantillons de cette localité se divisent en deux groupes distincts. Trois (TO16, TO17 et TO18) montrent des aimantations rémanentes naturelles relativement

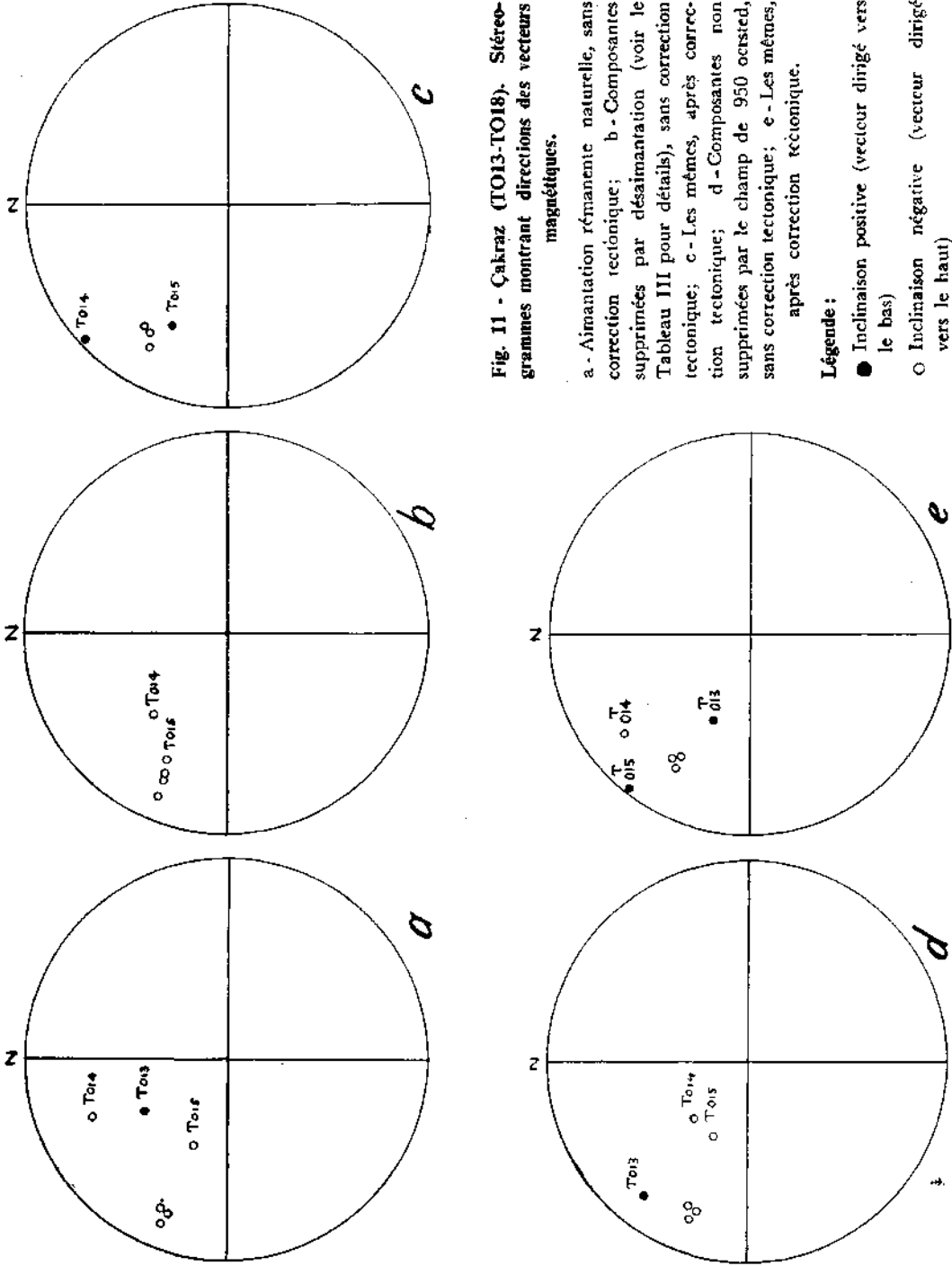


Fig. 11 - Çakraz (TO13-TO18). Stéréogrammes montrant directions des vecteurs magnétiques.

a - Aimantation rémanente naturelle, sans correction tectonique; b - Composantes supprimées par désaimantation (voir le Tableau III pour détails), sans correction tectonique; c - Les mêmes, après correction tectonique; d - Composantes non supprimées par le champ de 950 oersted, sans correction tectonique; e - Les mêmes, après correction tectonique.

Légende :

- Inclinaison positive (vecteur dirigé vers le bas)
- Inclinaison négative (vecteur dirigé vers le haut)

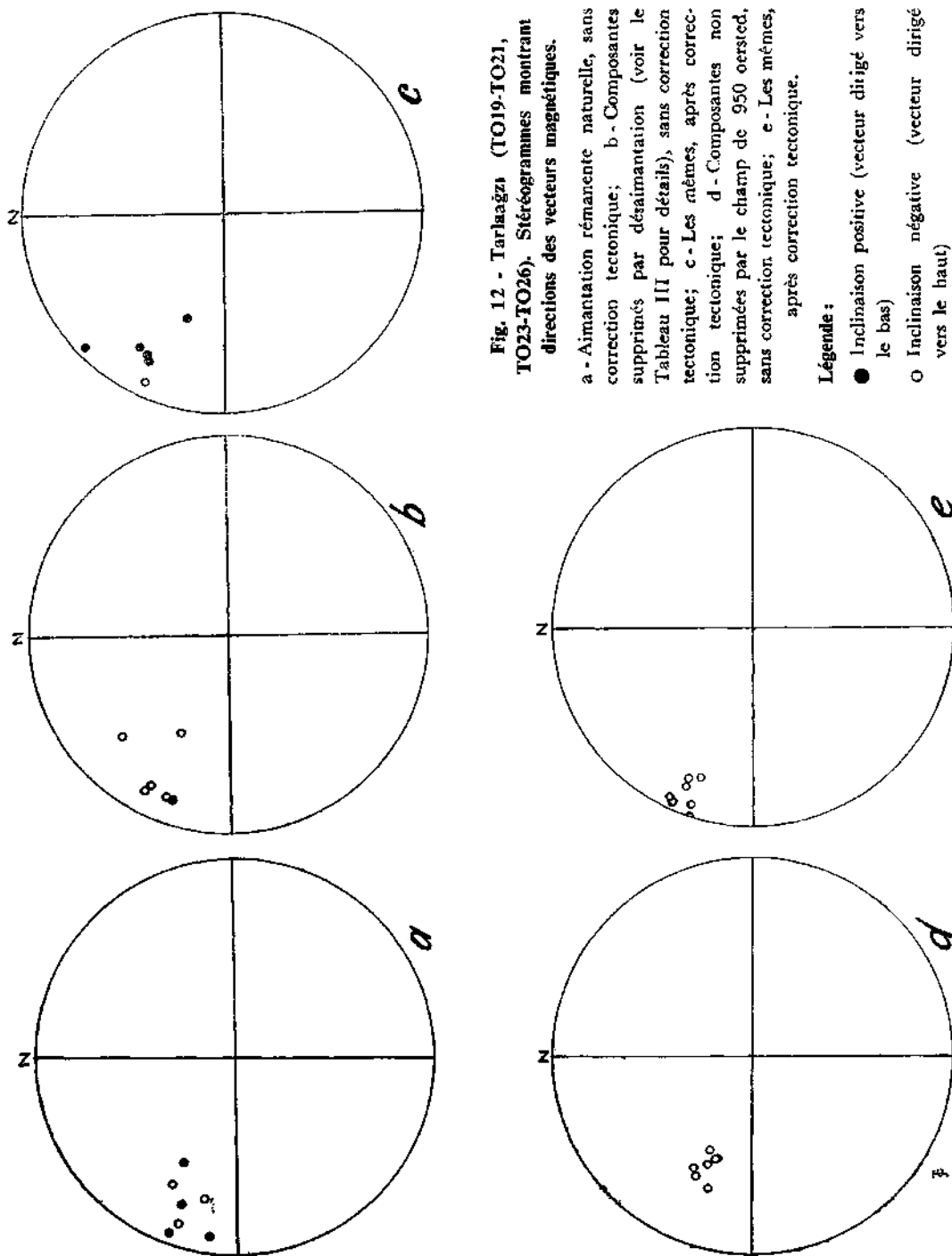


Fig. 12 - Tarlağzı (IO19-IO21, IO23-IO26). Stéréogrammes montrant directions des vecteurs magnétiques.

a - Aimantation rémanente naturelle, sans correction tectonique; b - Composantes supprimés par désaimantation (voir le Tableau III pour détails), sans correction tectonique; c - Les mêmes, après correction tectonique; d - Composantes non supprimées par le champ de 950 oersted, sans correction tectonique; e - Les mêmes, après correction tectonique.

Légende :

- Inclinaison positive (vecteur dirigé vers le bas)
- Inclinaison négative (vecteur dirigé vers le haut)

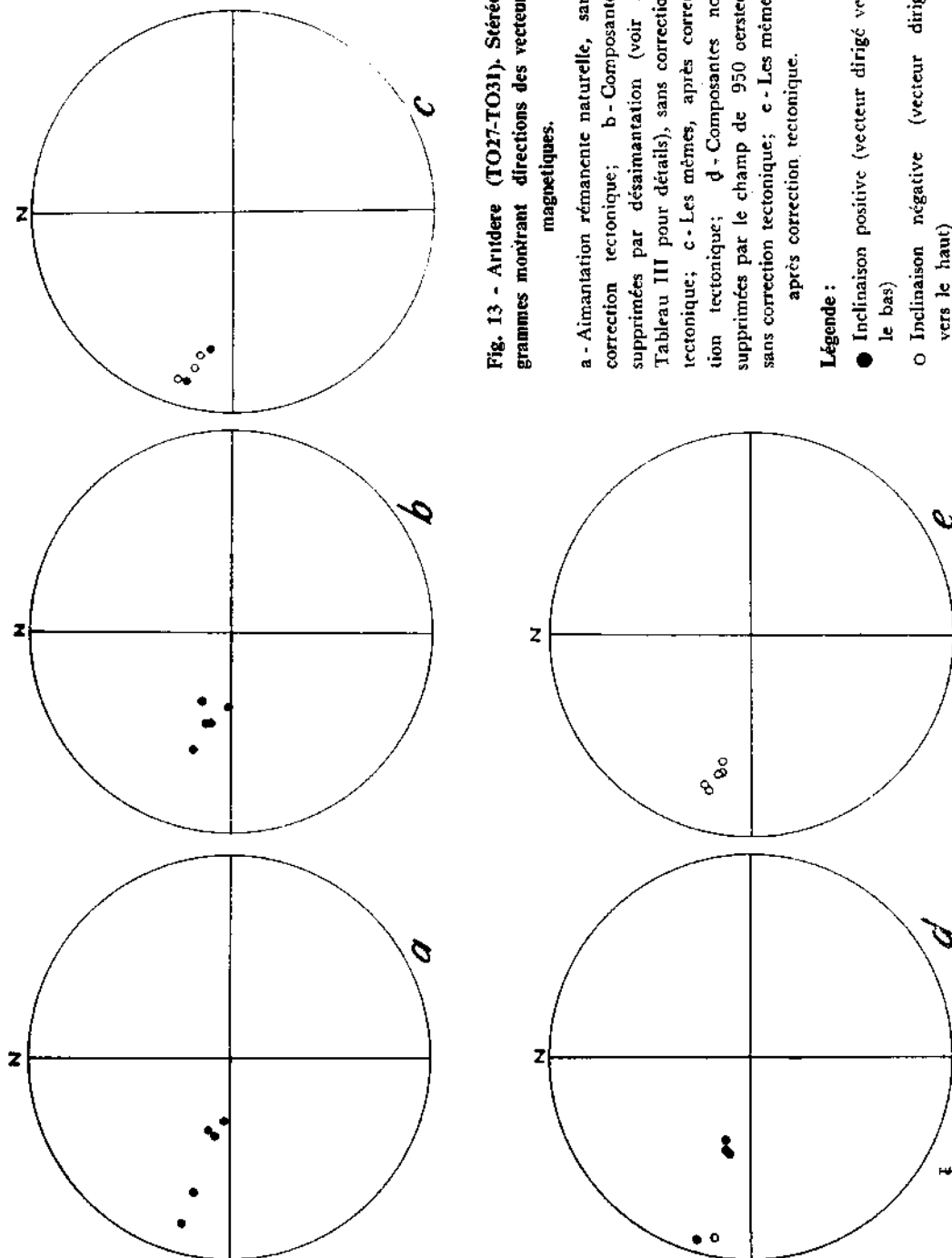


Fig. 13 - Antidère (TO27-TO31). Stéréogrammes montrant directions des vecteurs magnétiques.

a - Aimantation rémanente naturelle, sans correction tectonique; b - Composantes supprimées par désaimantation (voir le Tableau III pour détails), sans correction tectonique; c - Les mêmes, après correction tectonique; d - Composantes non supprimées par le champ de 950 oersted, sans correction tectonique; e - Les mêmes, après correction tectonique.

Légende :

- Inclinaison positive (vecteur dirigé vers le bas)
- Inclinaison négative (vecteur dirigé vers le haut)

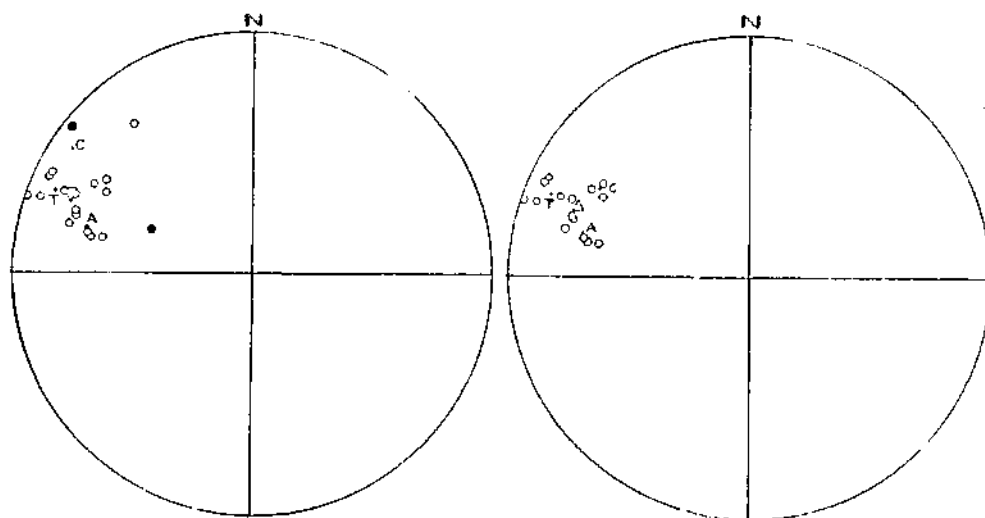


Fig. 14 - Çakraz, Tarlaağzı et Arıtdere : l'ensemble des vecteurs magnétiques résiduels après désaimantation en champ, alternant de 950 oersted.

A gauche : 18 échantillons; à droite : l'ensemble d'échantillons sans TO13-TO15.

Légende :

- Vecteur positive (dirigé vers le bas)
- Vecteur négative (dirigé vers le haut)
- .A) Direction moyenne
- .C) de chacun des
- .T) 3 sites
- △ Direction moyenne de l'ensemble des 3 sites
- △ Direction moyenne de l'ensemble des trois sites, utilisant Çakraz sans TO13-TO15

intenses, des valeurs Q (voir plus haut) en excès de 2,5, et des directions concordantes (Tabl. I). Les trois autres ont des aimantations d'intensité considérablement moindre, des valeurs Q en dessous de 0,9, et des directions dispersées. La désaimantation a révélé dans les trois échantillons du premier groupe la même composition magnétique. Une composante secondaire faible est supprimée par le champ de 300 oersted (Fig. 15); son élimination fait augmenter l'inclinaison du vecteur de 3° seulement. La composante qui reste a une direction commune aux échantillons des deux autres localités; ainsi est-il caractéristique de ces roches permiennees dans cette région. En regardant la Figure 15 de plus près, nous voyons que la trace du vecteur décroissant entre 300 et 950 oersted ne se dirige pas tout à fait dans la direction de l'origine : la composante éliminée a une inclinaison légèrement moindre que celle qui reste après 950 oersted (la limite d'intensité praticable dans notre laboratoire à présent.)¹⁰ L'on ne sait pas encore si, dans des cas pareils, nous avons affaire à une composante magnétique supplémentaire, ou bien à une seule composante qui paraît décroître excentriquement à cause d'imperfections dans la technique de mesures (asymétries dans le système échantillon-magnétomètre; voir plus haut). Quoi qu'il en soit, la différence est en tout cas très petite, et peut être négligée.

Les trois autres échantillons de Çakraz (TO13, TO14 et TO15) montrent un changement considérable de leurs directions d'aimantation sous l'influence de la désai-

Tableau - I
Résumé des mesures

Site	Coordonnées géographiques	Numéro d'échantillon	Direction et pendage des couches ¹	Aimantation rémanente naturelle				Composant éliminé par désaimantation forte				Composant non éliminé par 950 Oe				
				direction		intensité		Etendue du champ (Oe)	Sans correction tectonique		Après correction tectonique		Sans cor. tect.		Après cor. tect.	
				décl. ¹	incl.	u.é.m/cm ³	val. Q		décl. ¹	incl.	décl. ¹	incl.	décl. ¹	incl.	décl. ¹	incl.
Çakraz	41°50' N 32°30' E	TO13	75,5-43S	327,0°	+39,0°	0,6 × 10 ⁻⁶	0,16	950 _{seulemt.}	—	—	—	—	308,5°	+10,0°	293,0°	+41,5°
		TO14	67,5-37S	337,0°	-18,5°	0,8 × 10 ⁻⁶	0,42	650-950	312,0°	-33,5°	316,5°	+1,5°	314,5°	-48,0°	322,0°	-13,0°
		TO15	65,5-55S	290,0°	-41,0°	4,6 × 10 ⁻⁶	0,85	500-950	295,5°	-20,0°	294,5°	+24,0°	294,5°	-46,0°	308,5°	+2,0°
		TO16	123,5-35S	290,0°	-11,5°	17,9 × 10 ⁻⁶	2,79	650-950	293,5°	-15,5°	304,5°	-18,0°	288,5°	-14,5°	299,5°	-20,5°
		TO17	123,5-35S	291,5°	-7,5°	17,0 × 10 ⁻⁶	2,80	650-950	292,5°	-7,5°	298,5°	-12,5°	291,0°	-10,5°	299,5°	-16,0°
		TO18	123,5-35S	293,5°	-12,0°	20,6 × 10 ⁻⁶	2,85	650-950	293,0°	-13,0°	301,5°	-17,0°	293,0°	-14,5°	302,5°	-18,5°
Yarlagözü	41°46' N 32°24' E	TO19	27,5-24E	296,0°	+28,5°	1,6 × 10 ⁻⁶	0,44	400-950	289,0°	+8,0°	287,5°	+32,0°	292,5°	-36,0°	293,5°	-12,0°
		TO20	21,5-22E	291,0°	+3,0°	1,7 × 10 ⁻⁶	0,50	500-950	292,0°	-8,0°	302,5°	+14,0°	297,0°	-26,0°	296,5°	-4,0°
		TO21	27,5-20E	278,5°	+5,0°	2,2 × 10 ⁻⁶	0,82	500-950	298,0°	-9,5°	297,5°	+11,0°	288,0°	-20,0°	288,5°	-0,5°
		TO23	21,5-29E	290,5°	+13,0°	1,1 × 10 ⁻⁶	0,31	800-950	296,5°	-33,5°	296,0°	-4,5°	289,0°	-33,0°	289,5°	-4,0°
		TO24	27,5-20E	297,0°	-19,0°	3,1 × 10 ⁻⁶	0,79	650-950	317,5°	-17,0°	316,5°	+2,5°	292,0°	-29,5°	293,0°	-9,5°
		TO25	27,5-20E	283,0°	-17,5°	4,4 × 10 ⁻⁶	0,97	950 _{seulemt.}	—	—	—	—	287,5°	-34,0°	289,0°	-14,0°
		TO26	27,5-20E	289,5°	-7,0°	3,2 × 10 ⁻⁶	1,05	500-950	299,0°	-7,0°	299,0°	+13,5°	295,0°	-23,5°	295,5°	-3,5°
Aritdere	41°44' N 32°34' E	TO27	191,5-58W	280,5°	+46,5°	6,1 × 10 ⁻⁶	0,99	650-950	292,0°	+50,0°	288,5°	-8,0°	282,5°	+37,5°	282,0°	-21,0°
		TO28	191,5-58W	286,5°	+49,5°	6,3 × 10 ⁻⁶	0,76	650-950	282,5°	+40,0°	282,5°	-18,0°	283,5°	+38,5°	283,5°	-20,0°
		TO29	191,5-58W	274,5°	+54,5°	4,4 × 10 ⁻⁶	0,88	500-950	271,0°	+49,5°	283,0°	-13,0°	286,5°	+44,5°	285,5°	-13,5°
		TO30	163,5-22W	284,5°	+20,5°	3,1 × 10 ⁻⁶	0,86	650-950	285,0°	+40,5°	278,5°	+21,0°	286,5°	+4,0°	288,0°	-14,5°
		TO31	179,5-20W	286,0°	+9,0°	4,0 × 10 ⁻⁶	0,99	650-950	287,5°	+27,0°	285,5°	+8,0°	282,0°	-6,0°	283,0°	-25,0°

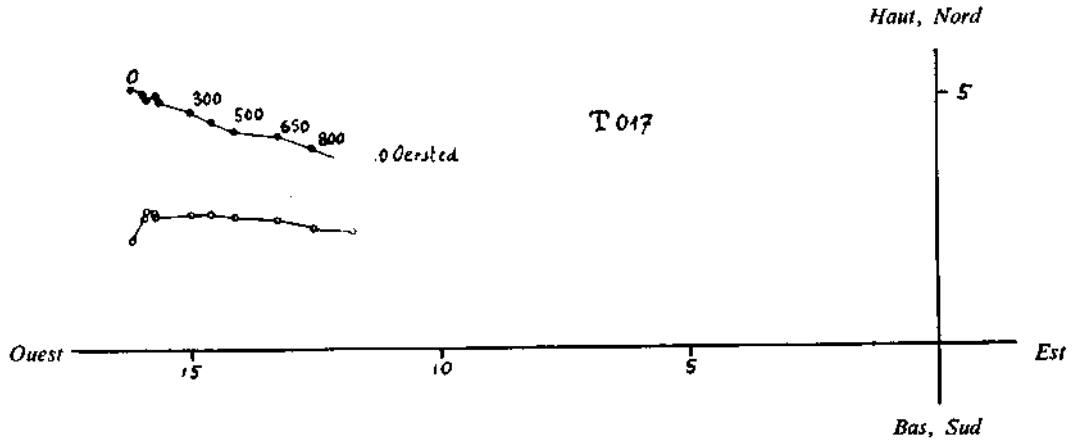


Fig. 15 - T017. Diagramme de désaimantation.

Extrémité du vecteur magnétique rapportée sur le plan horizontal (points) et le plan vertical ouest-est (cercles ouverts). Intensités de champ alternatif en oersted. Echelle : unités électromagnétiques $\times 10^{-6}$. Projection orthographique.

mantation progressive, annonçant une composante secondaire importante. Mais entre 500 et 950 oersted la diminution d'intensité n'est pas suffisante pour donner une indication utile de la direction de la composante enlevée dans cette partie du trajet. Les composantes qui restent après 950 oersted ne montrent aucune concordance, ni entre elles, ni avec celles de l'autre groupe de Çakraz. Comme nous l'avons signalé plus haut, il y a une différence marquée entre les dimensions des grains d'hématite de ces deux groupes d'échantillons. Dans TO13-TO15 nous avons compté environ 18 grains au millimètre carré de la plaque mince; le diamètre moyen est de 40 microns à peu près. TO16-TO18 montrent environ 60 grains par mm carré, avec un diamètre moyen de 17 microns. Il s'agirait ici essentiellement d'une différence d'aimantation rémanente de dépôt : bien que le groupe TO13-TO15 contienne à peu près quatre fois l'hématite granulaire du groupe TO16-TO18 (calculé sur base des données ci-dessus), la distribution du minerai (en un grand nombre de petits grains) dans les roches du second groupe confère à ces dernières un avantage énorme sur celles du premier.

Tarlağzı (échantillons TO19-TO21 et TO23-TO26; Fig. 12 et 16)

Tous les échantillons de cette localité sont comparables du point de vue intensité d'aimantation et valeur Q (Tabl. I). La correction tectonique ne varie pas beaucoup d'un échantillon à l'autre, et l'on peut voir sur la figure 12a que les directions d'aimantation rémanente naturelle sont distribuées approximativement sur un grand cercle qui passe par la direction du champ magnétique actuel. Cette distribution, souvent trouvée dans les collections paléomagnétiques, s'explique par la présence d'une composante secondaire d'intensité variable dirigé selon le champ terrestre actuel.

Ces échantillons furent soumis à l'action de champs alternatifs de 500, 650, 800 et 950 oersted. Trois (TO20, TO21 et TO26) cédèrent facilement leurs composantes secondaires (rappelant en ceci TO16-TO18 de Çakraz), mais les autres retinrent les leurs jusqu'à 800 oersted (Fig. 16).

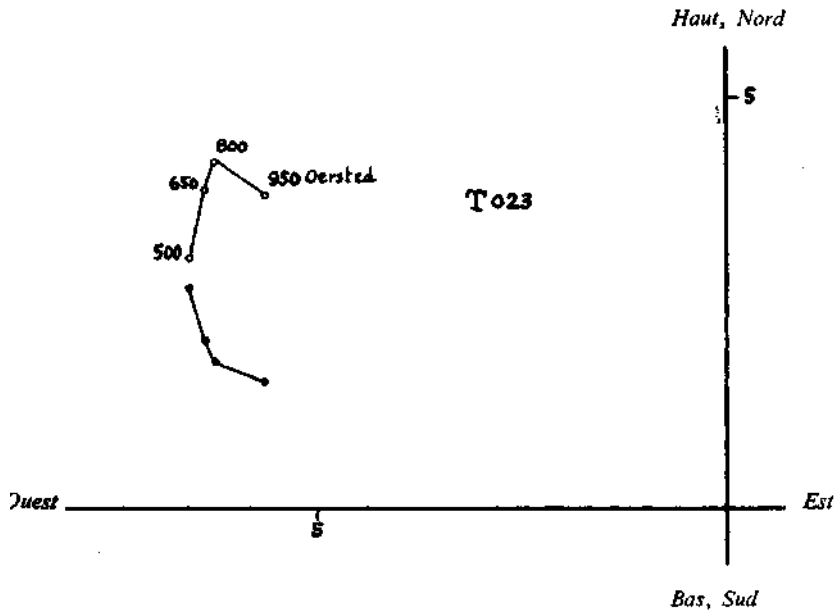


Fig. 16 - TO23. Diagramme de désaimantation.

Extrémité du vecteur magnétique rapportée sur le plan horizontal (points) et le plan vertical ouest-est (cercles ouverts). Intensités de champ alternatif en oersted. Echelle : unités électromagnétiques $\times 10^{-7}$. Projection orthographique.

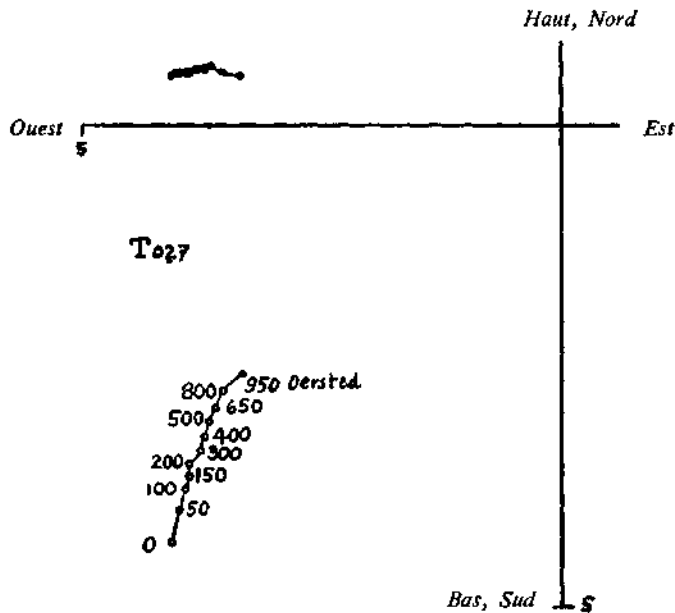


Fig. 17 - TO27. Diagramme de désaimantation.

Extrémité du vecteur magnétique rapportée sur le plan horizontal (points) et le plan vertical ouest-est (cercles ouverts). Intensités de champ alternatif en oersted. Echelle : unités électromagnétiques $\times 10^{-6}$. Projection orthographique.

Antdere (échantillons TO27-TO31; Figs. 13, 17 et 18)

Les échantillons d'Antdere se ressemblent tous en intensité et valeur Q (Tabl. I). Les différences de direction disparaissent à peu près avec la correction tectonique. Tous se comportent de la même manière pendant la désaimantation : comme on peut voir sur les figures 17 et 18, la direction du vecteur n'est pas constante, même dans le trajet 650-950 oersted. De quoi nous devons admettre que les composantes secondaires ne sont pas entièrement enlevées. L'on peut tout de même dire qu'elles sont suffisamment affaiblies pour que leur effet résiduel soit perdu dans la dispersion du groupe.

Aimantation rémanente caractéristique

Le Tableau I et les stéréogrammes (Figs. 11 à 14) montrent pour chaque échantillon les directions des composantes éliminées par les champs alternatifs à partir de 500 oersted. Pour le groupe d'Antdere, la composante résiduelle après traitement avec 950 oersted est évidemment la plus rapprochée à l'aimantation caractéristique, bien que l'inclinaison ainsi obtenue pourrait être un peu trop faible.

Pour la majorité des échantillons des deux autres sites, le décroissement de l'aimantation est insuffisant pour une évaluation des composantes éliminées. Dans trois des échantillons de Çakraz (TO16-TO18) cependant, l'on peut bien y arriver; et nous

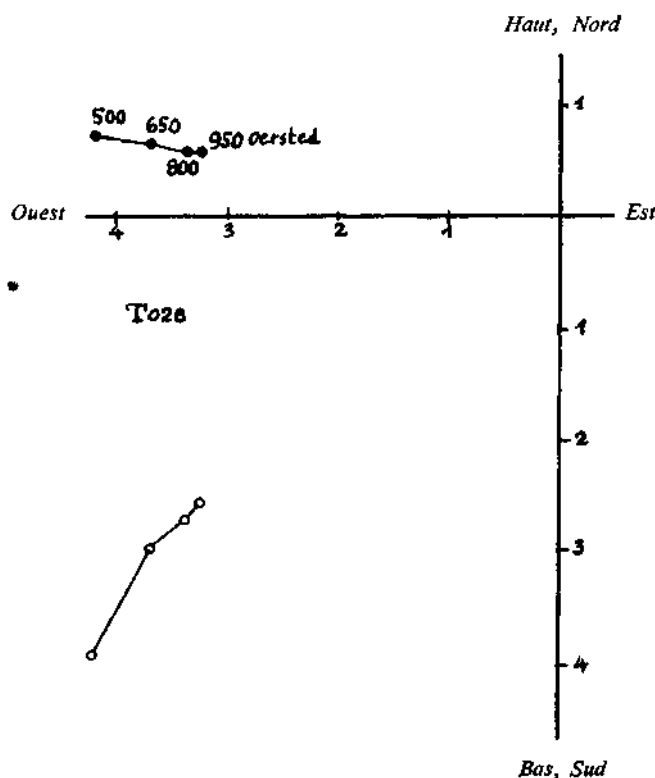


Fig. 18 - TO28. Diagramme de désaimantation.

Extrémité du vecteur magnétique rapportée sur le plan horizontal (points) et le plan vertical ouest-est (cercles ouverts). Intensités de champ alternatif en oersted. Echelle : unités électromagnétiques $\times 10^{-6}$ Projection orthographique.

voions qu'ici, au moins, la différence entre composantes éliminées et résiduelles est plutôt petite. Ici, si nous adoptons la direction de la composante résiduelle après traitement avec 950 oersted, nous risquons d'avoir une inclinaison légèrement trop forte.

Enfin, nous croyons obtenir la meilleure approximation de l'aimantation caractéristique en utilisant dans tous les cas la composante qui reste après désaimantation avec 950 oersted. Ceci est appuyé d'ailleurs par le fait que cette composante donne le groupe le plus serré pour chacun des localités de Tarlaağzı et Arıtdere; elle donne en plus le meilleur accord entre les trois groupes après correction tectonique (Fig. 14) : en d'autres termes, cette composante satisfait le mieux le test de Graham (voir plus haut).

La direction de l'aimantation caractéristique de chacun des trois sites, ainsi que les coordonnées du pôle ancien correspondant, sont reportées sur le Tableau II. Admettant que les propriétés magnétiques des échantillons TO13-TO15 (c. à d. leur intensité d'aimantation, valeur Q et comportement sous champ alternatif), telles que révélées par nos mesures, mettent en doute les résultats que nous en avons obtenus, nous avons fait deux séries de calculs: l'une incorporant les données de ces trois échantillons douteux, la seconde les négligeant.

Pour des raisons que nous avons expliquées plus haut nous adoptons, comme direction de l'ancien pôle, la moyenne des trois sites et non la moyenne simple de l'ensemble d'échantillons. Du fait que nous n'amenons dans le calcul final que trois vecteurs (chacun lui-même une moyenne calculée pour l'un des trois sites), la « dispersion » dont tient compte le calcul est relativement grande: ce qui explique le rayon élevé (18°) du cercle de confiance. La vraie dispersion (c. à d. celle de l'ensemble des 15 vecteurs pris en considération), comme le montre un calcul supplémentaire, est beaucoup plus petite, le rayon du cercle de confiance étant en ce cas $4,7^\circ$ seulement. Le même calcul montre que la différence entre la moyenne des sites et celle de l'ensemble

Tableau - II

Aimantation caractéristique et ancien pôle

Site	Aimantation caractéristique		Coordonnées de l'ancien pôle virtuel		1495	Nombre d'échantillons
	décl. ¹	incl.				
Çakraz	304,5°	— 5,0°	23,0°S	95,5°E	22,0°	6
Çakraz sans TO13-TO15	300,5°	—18,3°	15,0°S	94,0°E	4,0°	3
Tarlaağzı	292,0°	— 7,0°	13,5°S	105,0°E	4,5°	7
Arıtdere	284,5°	—19,0°	3,0°S	106,5°E	5,0°	5
Moyenne des 3 sites	293,8°	—10,3°	13,8°S	102,3°E	22,0°	3 sites
Moyenne des 3 sites, utilisant Çakraz sans TO13-TO15	292,0°	—14,8°	11,0°S	101,5°E	18,0°	3 sites
Moyenne des 18 échantillons (pour comparaison)	294,1°	— 9,7°	—	—	7,1°	18
Moyenne sans TO13 TO15 (pour comparaison)	291,3°	—13,1°	--	—	4,7°	15
Direction (calculée pour la région d'Amasra) de l'ancien pôle moyen pour le Permien de l'Europe «stable»	210,0°	—15,5°	46,5°N	165,5°E	voir le Tableau III	

Tableau - III
Anciens pôles virtuels établis pour le Permien d'Europe et d'Afrique à partir de régions stables

Continent	Région ou localité	Nature des roches	Aimantation caractéristique		Coordonnées du site de l'ancien pôle virtuel	Nombre d'échantillons	Auteur	
			décl.	incl.				
Europe	Oslo	ignée	204°	-36,5°	47°N 157°E	27,5°	484	V. Everdingen (1960)
	Nahe (1) (Allemagne)	ignée	201°	- 9,0°	42°N 163°E	4,25°	28	Nijenhuis (1960)
	Nahe (2)	ignée	196°	-18,0°	48°N 168°E	7,75°	34	
	Nideck (France)	ignée	192,5°	-12,5°	47°N 169°E	4,5°	37	Roche et al. (1962)
	Lodève (France) (Autunien)	sédimentaire	189,5°	+ 4,0°	44,5°N 178°E	—	14	Kruseman (1962)
	Lodève (Saxonien)	sédimentaire	198,5°	- 6,5°	48°N 164°E	—	30	
Europe (moyenne) ¹	—	—	—	—	46,5°N 165,5°E	—	—	—
Afrique	Maji Ya Chumvi (Kenya)	sédimentaire	267°	+38°	4°N 150°E	11°	5	Nairn (1959)
	Taru Grit (Kenya)	sédimentaire	87°	+61°	0° 87°E	16,4°	8	Nairn (1959)
	Ecra Sandstone (1) (Tanganyika)	sédimentaire	156°	+52°	58°S 74°E	7,1°	11	Nairn (1964)
	Ecra Sandstone (2)	sédimentaire	—	—	38°S 70°E	16°	9	Opldyke (1964)

¹ Ces 6 pôles sont les seuls pôles permien pour l'Europe stable établis à partir de roches désaimantées. En calculant la moyenne, nous avons d'abord moyenné Nahe (1) et (2), aussi que les 2 pôles de Lodève.

d'échantillons ne dépasse pas 2° . A supposer, donc, que les procédés pratiques (échantillonnage et mesures) soient valables, nous pouvons situer l'ancien pôle avec une précision bien supérieure à celle que suggère le cercle de confiance pour la moyenne des trois sites.

DISCUSSION DES RÉSULTATS

Ces résultats seront éventuellement ré-examinés en leur rapport avec les données d'études actuellement en voie d'achèvement en d'autres régions du système alpin. Pour le présent nous nous bornerons à quelques remarques d'ordre général.

Bien que la position indiquée pour le pôle virtuel se situe parmi celles déterminées jusqu'à présent à partir du Permien d'Afrique (Nairn, 1959, 1964; Opdyke, 1964; voir le Tableau III), le désaccord considérable entre ces dernières n'encourage guère de comparaisons.

L'inclinaison moyenne de $14,8^\circ$ s'accorde assez bien avec les isoclines du Permien d'Europe, telles que nous les avons construites à partir des seuls pôles déterminés sur base d'échantillons désaimantés (Fig. 19); mais la déclinaison de 292° ne s'y conforme qu'après une rotation sinistrade de quelques 80° . Comme nous l'avons déjà remarqué, les glissements par gravité qui se sont produits dans la région de Tarlağzı au Paléozoïque n'ont pas changé l'orientation des formations permienues là-bas relativement à celles des deux autres localités. Une rotation indépendante de chacune des trois régions,

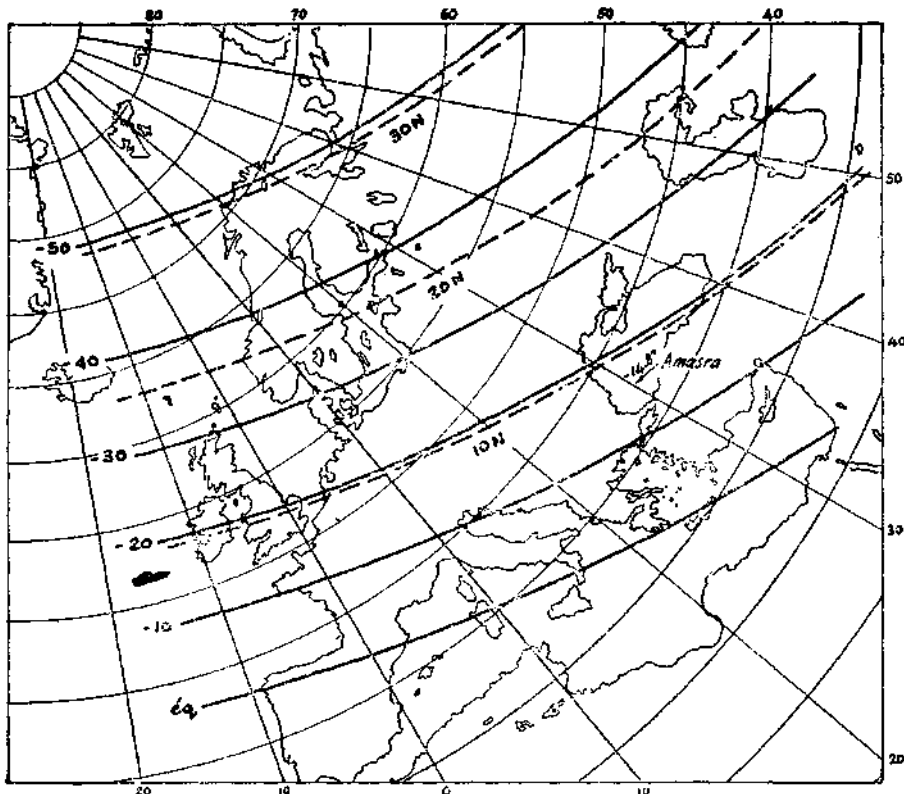


Fig. 19 - Paléolatitudes (en tireté) et isoclines pour le Permien d'Europe, en relation avec le site d'Amasra. Projection stéréographique.

exactement égale à celle de ses voisines, est hors de conception; donc nous avons affaire à une rotation en bloc de la région entière, dont la cause est à rechercher dans les phénomènes d'ordre géotectonique.

La question qui se pose est une de degré. S'agit-il de la rotation d'un bloc de l'écorce de dimensions régionales (étendue de l'ordre de dizaines de km), ou continentales? L'Anatolie entière a-t-elle exécuté une rotation post-permienne qui l'a amenée dans sa position actuelle? Concernant la première possibilité nous rappelons que la région d'Amasra se trouve à une distance de seulement 75 km de la grande zone de fractures nord-anatolienne, où les tremblements de terre sont encore connus de nos jours, et où tous les mouvements que l'on a repérés révèlent un déplacement vers l'est du côté nord (unité européenne) par rapport au côté sud (Omote & İpek, 1959). Pavoni (1961) considère cette zone comme une ligne de démarcation entre l'Eurasie et le Gondwana; et ces déplacements dextrales que l'on trouve tout de son long suggèrent un mouvement de l'Europe vers l'est par rapport à l'Afrique. Il n'y aurait rien d'étonnant en la présence, à chaque côté d'une zone de décrochement dextrale de l'envergure contemplée ici, de régions retroussées, tournées en sens dextrale. La distance d'Amasra représenterait une étendue horizontale de 75 km pour une telle région, ce qui ne dépasserait probablement pas, ici le double de l'épaisseur de la croûte continentale.

Quant à l'hypothèse d'une rotation post-permienne de toute la Turquie, la continuité des structures hercyniennes vers l'ouest (Cyclades, Bulgarie) semblerait exiger un mouvement d'envergure plus grande encore, qui permettrait de garder le tout en unité intégrale. Des études ultérieures du Permien de la Turquie permettront peut-être de développer plus loin l'une ou l'autre de ces hypothèses; pour le moment nous penchons vers la première, et c'est notre conclusion tentative que la région d'Amasra est un bloc retroussé, situé sur le bord sud du bouclier européen, qui a subi une rotation dextrale de 80° depuis le Permien en conséquence du jeu de la zone de fractures nord-anatolienne

Remerciements

Cette étude fait partie d'un projet soutenu conjointement par la Faculté des Lettres et des Sciences de l'Université Américaine de Beyrouth et l'Organisation Néerlandaise pour le Développement de la Recherche Scientifique (Z.W.O.). Nous remercions l'Institut d'Etudes et de Recherches Minières de la Turquie (M.T.A.) pour les facilités qu'il a mises à notre disposition, et en particulier Monsieur Yaşar Ergönül, pour son aide indispensable sur le terrain. Nous nous faisons un plaisir spécial de remercier notre ami le Dr. D. Van Hilten, à qui nous devons nombre de conseils précieux, et qui nous a gracieusement prêté le dessin de la Figure 1. MM les Professeurs Raven et Veldkamp n'ont pas manqué de faciliter ce travail en nous faisant profiter des ressources de leurs laboratoires respectifs.

Enfin, nous garderons à jamais notre souvenir d'Amasra, petite région enchantée où les falaises rouges retombent sur la mer d'émeraude et les plages dorées de Çakraz.

B I B L I O G R A P H I E

- AS, J. A. (1960) : Instruments and measuring methods in paleomagnetic research. *Mededelingen en verhandelingen, Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut*, no. 78
- & J. D. A. ZIJDERVELD (1958) : Magnetic cleaning of rocks in paleomagnetic research. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 1, 308-319.
- BOER, J. de (1963) : Geology of the Vincentian Alps (with spécial référence to their paleomagnetic history). *Geologica Ultraiectina*, 11. (Thèse, université d'Utrecht.)
- COX, A. & R. R. DOELL (1960) : Review of paleomagnetism. *Bulletin of the Geological Society of America* 71, 645-768.
- DIETZEL, G. F. L. (1960) : Geology and Permian paleomagnetism of the Merano région, Province of Bolzano, N Italy. *Geologica Ultraiectina*, 4. (Thèse, université d'Utrecht.)
- EVERDINGEN, R. O. van (1960) : Paleomagnetic analysis of Permian extrusives in the Oslo région (Norway). *Norske Videnskaps-Akad. Oslo, I, Mat. Naturv. Kl.*, 1.
- FISHER, R. A. (1953) : Dispersion on a sphere. *Proceedings of the Royal Society* (Londres), séries A, 277, 295-305.
- GRAHAM, J. W. (1949) : The stability and significance of magnetism in sedimentary rocks. *Journal of Geophysical Research*, 54, 131-167.
- GREGOR, C. B. & J. D. A. ZIJDERVELD (1964) : Paleomagnetism and the alpine tectonics of Eurasia, I. The magnetism of some Permian red sandstones from northwestern Turkey. *Tectonophysics*, 1, (4), 289-306.
- GUICHERIT, R. (1964) : Gravity tectonics, gravity field and paleomagnetism in NE Italy. *Geologica Ultraiectina*, 14. (Thèse, université d'Utrecht.)
- HILTEN, D. van (1960) : Geology and Permian paleomagnetism of the Val di Non area, W. Dolomites, N Italy. *Geologica Ultraiectina* no. 5. (Thèse, université d'Utrecht.)
- (1962 a) : Présentation of paleomagnetic data, polar wandering and continental drift. *American Journal of Science* 260, 401-426.
- (1962 b) : A deviating Permian pole from rocks in northern Italy. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society* (Londres), 6, 377-390.
- (1964 a) : Interprétation of the wandering paths of ancient magnetic pôles. *Géologie en Mijnbouw* 43, 209-221.
- (1964 b) : Evaluation of some geotectonic hypotheses by paleomagnetism. *Tectonophysics* 1, no. 1, 3-71.
- KÖNIGSBERGER, J. G. (1938) : Natural residual magnetism of eruptive rocks, Part I. *Terrestrial Magnetism* 43, 119-130.
- KRUSEMAN, G. P. (1962) : Etude paléomagnétique et sédimentologique du bassin permien de Lodève (Hérault, France). *Geologica Ultraiectina*, 9. (Thèse, université d'Utrecht.)
- LINGEN, G. J. van der. (1960) : Geology of the Spanish Pyrénées north of Canfranc, Huesca Province. *Estudios Geológicos* (Madrid) 16, 205-242.
- NAGATA, T. (1961) : Rock Magnetism (revised édition). Maruzen, Tokyo.
- NAIRN, A. E. M. (1959) : A paleomagnetic survey of the Karroo System. *Ovemeas Geology and Minéral Resources* (Royaume Uni) 7, 398-410.
- (1964) : Paleomagnetic measurements on Karroo and post-Karroo rocks. *Overseas Geology and Minéral Resources* (Royaume Uni) 9, 302-320.
- NIJENHUIS, G. H. W. (1961) : A paleomagnetic study of the permian volcanics in the Nahe région (SW Germany). *Géologie en Mijnbouw* 40, 26-38.

- OMOTE, S. & M. İPEK (1959) : Seismicity in Turkey. Rapport présenté à la réunion de la Commission Européenne pour la Sismologie à Alicante.
- OPDYKE, N. D. (1964) : The palcomagnetism of the Permian red beds of southwest Tanganyika. *Journal of Geophysical Research* 69, 2477-2487.
- PAVONI, N. (1961) : Die Nordanatolische Horizontalverschiebung. *Geohgische Rundschau* 51, 122-139.
- ROCHE, A., H. SAUCIER & J. LACAZE (1962) : Etude paléomagnétique des roches volcaniques permienne de la région Nideck-Donon. *Bulletin du Service de la Carte Géologique d'Alsace-Lorraine*, 15, 59-68.
- SCHWARZ, F. J. (1962) : Geology and paleomagnetism of the Valley of the Rio Aragon subordan N and E of Ozo (Huesca, Spain). *Estudios Geologicos* (Madrid) 18, 193-240.
- (1963) : A paleomagnetic investigation of permotriassic red beds and andésites from the Spanish Pyrénées. *Journal of Geophysical Research* 68, no. 10, 3265-3271.
- THELLIER, E. (1938) : Sur l'aimantation des terres cuites et ses applications géophysiques. *Annales de l'Institut de la Physique du Globe* 16, 157-302.
- (1951) : Propriétés magnétiques des terres cuites et des roches. *Journal de Physique* 12, 205-218.
- TOKAY, M. (1955) : Géologie de la région de Bartın (Zonguldak, Turquie de nord). *M.T.A. Bull.*, no. 46-47. 46-63.
- (1962) : The geology of the Amasra région with spécial référence to some Carboniferous gravity gliding phenomena. *M.T.A. Bull.*, no. 55, 1-20.
- WATSON, G. S. (1956) : Analysis of dispersion on a sphère. *Royal Astronomical Society* (Londres) *Monthly Notices, Geophysical Supplément*, 7, 153-159.
- & E. IRVING (1957) : Statistical methods in rock magnetism. *Royal Astronomical Society* (Londres) *Monthly Notices, Geophysical Supplément*, 7, 289-300.