

Zeitschrift: Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen = Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie
Band: 3 (1923)
Heft: 1-2

Artikel: Les méthodes de Fédorof et leur application à la détermination des plagioclases
Autor: Duparc, Louis / Reinhard, Max
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-5318>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 12.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Les méthodes de Fédorof et leur application à la détermination des plagioclases.

Avec 1 planche et 25 figures dans le texte.

Par *Louis Duparc* et *Max Reinhard* (Genève).

Préface.

La présente note a été écrite dans le but d'exposer d'une façon aussi simple que possible, les admirables méthodes de travail créées par E. de Fédorof, méthodes qui ont produit une révolution profonde dans la technique minéralogique et pétrographique. Notre travail n'est original qu'en ce qui concerne la planche utilisée pour la détermination des feldspaths, qui a été construite avec des données différentes de celles utilisées dans le même but par W. W. Nikitin, et que nous avons empruntées principalement aux travaux de M. Becke. Les méthodes de Fédorof ont été introduites au Laboratoire de Minéralogie de l'Université de Genève en 1912, par M. Duparc, qui les avait pratiquées à Pétrograd avec Fédorof lui-même, et avec son élève et collaborateur, le professeur Nikitin. Depuis lors, elles n'ont cessé d'y être en honneur, et de nombreux élèves et savants étrangers sont venus à Genève s'initier à cette nouvelle technique. L'exposé complet des méthodes de Fédorof se trouve dans le magistral ouvrage du professeur W. W. Nikitin, dont les deux premiers volumes sont déjà traduits. On trouvera dans cet ouvrage les renseignements les plus complets sur la méthode universelle de Fédorof, et sa lecture est indispensable pour quiconque veut posséder à fond cette nouvelle technique. Sans doute les procédés de travail ne sont plus exac-

tement ceux qu'employait Fédorof à l'origine; ils ont été successivement simplifiés par tous ceux qui ont travaillé avec la platine théodolite, et tout particulièrement par Nikitin lui-même, de sorte qu'on peut dire aujourd'hui que l'emploi de cette platine est aussi aisé que celui du microscope ordinaire.

L'ouvrage de M. Nikitin renferme toute la bibliographie des travaux de Fédorof et de ses élèves jusqu'en 1914; nous pensons donc qu'il est inutile de rééditer celle-ci, et nous renverrons le lecteur qui désirerait en prendre connaissance, à cet ouvrage. Pour la période qui suit 1914, nous ne donnerons que quelques indications, qui seront nécessairement incomplètes, car nous ne possédons malheureusement pas la liste des travaux publiés en Russie depuis cette époque.

Nous ajouterons pour terminer, que nous pensons que la lecture de cette note contribuera à répandre de plus en plus une méthode de travail qui est d'une précision incomparable et d'une application beaucoup plus facile qu'on ne le pense ordinairement.

Bibliographie.

- 1) W. W. Nikitin. La méthode universelle de Fédorof. Traduction française par L. Duparc et Vera de Dervies. 2 Volumes avec atlas, Genève, Atar éditeur. Paris et Liège, Ch. Béranger éditeur; 1914.
- 2) L. Duparc et R. Sabot. Les méthodes de Fédorof. Archives des Sciences physiques et naturelles, T. XXXIV, juillet 1912; Genève.
- 3) H. Sigg et G. Favre. Quelques nouvelles courbes pour la détermination des feldspaths. Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences naturelles, T. LI, 1917; page 341.
- 4) R. Sabot. La méthode de Fédorof et son application à la détermination des feldspaths. Comptes-rendus de la Société de Physique de Genève, 21 novembre 1918.
- 5) R. Sabot. La technique de Fédorof; simplifications au cours du travail et des reports. Comptes-rendus de la Société de Physique de Genève, 1^{er} juillet 1920.
- 6) M. Reinhard. A propos de la détermination des plagioclases par la méthode de Fédorof. Comptes-rendus de la Société de Physique et d'Histoire naturelle de Genève, 15 février 1923.

1^o Les méthodes de Fédorof et leur technique.

Introduction.

Depuis une vingtaine d'années, les méthodes utilisées pour la détermination des feldspaths ont fait des progrès très

considérables, et parmi les savants qui ont contribué à perfectionner ces méthodes, il faut citer les noms de M. M. Fouqué, Michel Lévy, Becke et Fédorof. On sait que ces méthodes s'inspirent soit de la recherche des sections orientées cristallographiquement ou optiquement, sur lesquelles on détermine la valeur de l'angle d'extinction pour une vibration de signe connu; soit de la présence de macles, dont on utilise les propriétés spéciales dans les sections perpendiculaires aux plans de macle qui appartiennent à une zone de symétrie, ou encore les sections chez lesquelles l'un des individus maclé est orienté par rapport à l'un des éléments de l'ellipsoïde. Chez ces individus maclés, toutes les propriétés optiques sont rapportées à la trace du plan de macle, qui devient ainsi ligne directrice. M. Becke a imaginé également un procédé de détermination des feldspaths, basé sur la valeur plus ou moins élevée de leurs indices de réfraction comparée à celle des indices du quartz, ou à celui du baume de Canada. Toutes ces méthodes présentent certains avantages, mais aussi de réels inconvénients. La recherche des sections orientées n'est pas toujours commode, et l'orientation n'est souvent qu'imparfaite, ce qui entraîne une modification plus ou moins sensible dans la propriété optique qu'on se propose de déterminer. D'autre part, une grande incertitude persiste souvent au sujet des macles que présentent les feldspaths. On est malheureusement trop enclin à rattacher ces macles à celles de l'albite, de Karlsbad, ou de la péricline, pour lesquelles toutes les constantes optiques et les diagrammes y relatifs ont été établis, et l'on se borne à constater que les valeurs obtenues dans une détermination coïncident avec celles de telle ou telle macle, pour tel ou tel cas. Il en résulte par conséquent, qu'on détermine à la fois le feldspath et le type de macle que l'on croit réalisé. Mais les données sur les autres macles des feldspaths manquent, et l'on ne sait pas dans quelle mesure l'assimilation qui a été faite est bien réelle. En tout cas, la détermination d'un feldspath exige, dans la majorité des cas, plusieurs sections, tout au moins pour servir de contrôle. De plus, les courbes établies pour la détermination des plagioclases l'ont été dans l'hypothèse que ceux-ci étaient des mélanges isomorphes de deux termes seulement, l'albite Ab, et l'anorthite An. Or l'expérience montre, à chaque instant, qu'il entre dans la composition de

ces derniers un terme potassique, qui a une influence certaine sur les propriétés optiques. On pourrait dans ces conditions, construire des courbes similaires à celles obtenues dans l'hypothèse précitée, et nous aurions nécessairement un faisceau de courbes planes, suivant les proportions relatives du troisième terme. Il en résulte qu'en supposant ces courbes construites, on ne saurait jamais sur laquelle il faut reporter la valeur observée. Donc il faut toujours supposer implicitement que le plagioclase ne renferme pas de potasse.

Les méthodes imaginées par Fédorof partent d'un tout autre point de vue. La détermination d'un feldspath ou d'un minéral quelconque est une simple opération de géométrie dans l'espace, qui consiste à fixer avec précision sur une sphère, ou sur une projection en dérivant, les pôles des éléments optiques et cristallographiques du minéral, et ceci au moyen d'une seule section. Un feldspath sera donc déterminé par les trois coordonnées sphériques d'un de ses éléments cristallographiques, tel que clivage, plan de macle etc., par rapport aux trois axes de l'ellipsoïde n_g , n_m , n_p . Le point défini par ces trois coordonnées se trouve donc situé dans l'espace sur la sphère, et peut être projeté dans le plan au moyen d'un système de projection sphérique quelconque. Comme la représentation du pôle figuratif est fonction de trois coordonnées, et qu'en réalité dans un plagioclase nous pouvons avoir trois termes isomorphes qui se mélangent, la position du point permettra de savoir si le feldspath déterminé ne renferme que de l'Ab et de l'An, et en quelle proportion, puis aussi, si le plagioclase renferme de la potasse. De plus, on comprendra aisément que cette méthode, fixant avec précision les coordonnées de chaque élément cristallographique, fera disparaître toute incertitude pour l'interprétation des macles rencontrées. La méthode de Fédorof a donc des avantages énormes sur toutes les autres; elle supprime toutes les indécisions que celles-ci laissent subsister, et réduit la détermination d'un plagioclase à une opération géométrique de précision.

Principe de la Méthode.

Il s'agit donc, dans la méthode de Fédorof, de déterminer les coordonnées sphériques, d'abord des éléments optiques du cristal, soit des plans et des axes de l'ellipsoïde, ainsi que

des axes optiques, puis les coordonnées des éléments cristallographiques, en l'espèce des plans de clivage, des plans de macle et éventuellement des faces cristallines, tout ceci au moyen d'une seule section. Nous remarquerons de suite que cette section est orientée d'une façon quelconque par rapport à l'ellipsoïde; Fédorof la choisira comme plan de projection, et le problème consistera à reporter exactement sur ce plan de projection, les pôles des axes et des plans de l'ellipsoïde, ceux des axes optiques, et ceux des éléments cristallographiques.

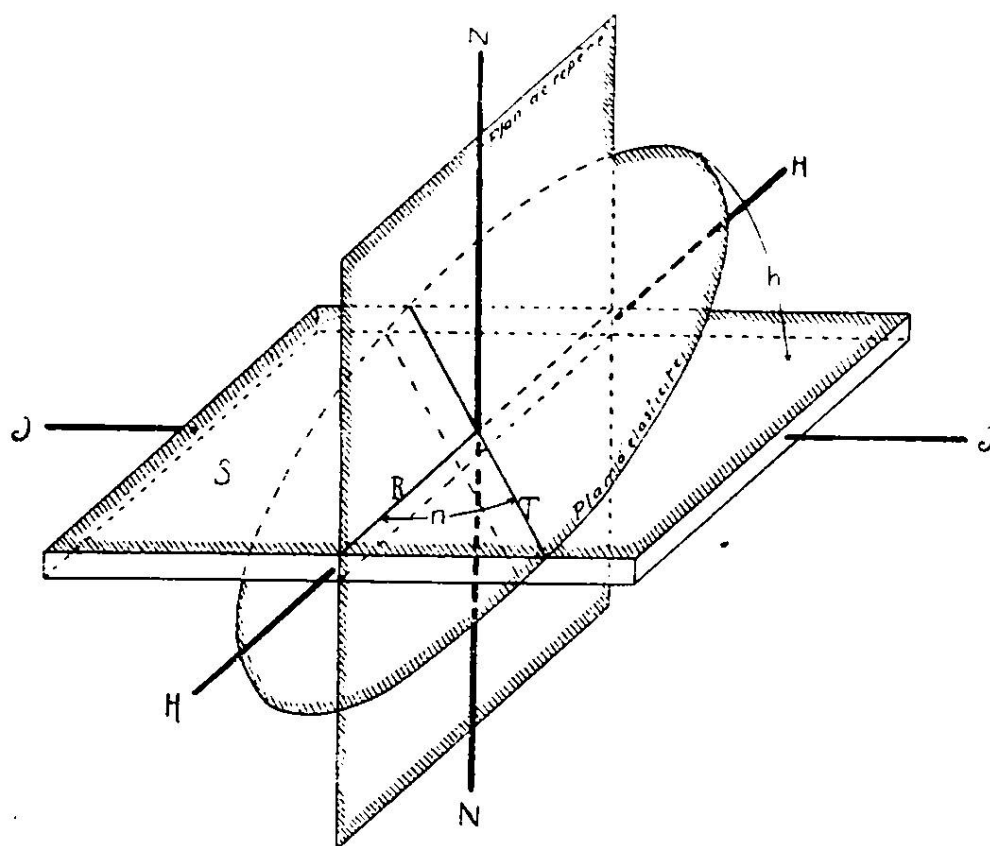


fig. 1. Schéma montrant les rotations à effectuer pour amener la coïncidence d'un plan d'élasticité avec un plan de repère.

Nous allons tout d'abord nous occuper de la fixation des coordonnées des éléments cristallographiques.

Soit une section quelconque S d'un minéral (fig. 1), et soit T la trace sur cette section d'un des plans de l'ellipsoïde, incliné d'un angle h par rapport à la normale à la section. Soit n l'angle que fait la trace de ce plan de l'ellipsoïde avec celle d'un plan de repère fixe R , qui sera par exemple le fil $N-S$ du microscope, jalonnant la section principale d'un des

nicols. Dans tout ce qui suivra, nous supposerons le microscope orienté par rapport à l'observateur comme la rose des vents, le Nord à l'opposé de celui-ci et l'Est à sa droite. Nous nous proposons maintenant de faire coïncider le plan de l'ellipsoïde, dont la trace est en T, avec le plan de repère R. Nous pouvons effectuer cette opération au moyen d'une double rotation de la plaque: 1^o l'une d'un angle n dans le plan horizontal autour d'un axe **N** perpendiculaire à la section, de manière à faire coïncider la trace T avec le plan de repère R. 2^o l'autre par une inclinaison de droite à gauche ou vice-versa, d'un angle h autour d'un axe **H** contenu dans le plan de la plaque. Après ces deux rotations, le plan d'élasticité coïncidera avec le plan de repère, et si ce dernier est parallèle à la section principale d'un nicol, la plaque sera éteinte. Supposons maintenant que cette plaque puisse encore tourner autour d'un axe horizontal **J**, perpendiculaire au plan de repère, et orienté E—W. Une rotation de la section autour de cet axe laisserait l'extinction persistante, car cet axe coïncide alors avec l'un des axes de l'ellipsoïde. Si on dispose d'un moyen d'évaluer les différentes rotations imprimées et en particulier celles de l'angle n et de l'angle h , nous aurons les deux coordonnées sphériques d'un des plans d'élasticité de l'ellipsoïde. D'où par conséquent la nécessité d'un instrument, permettant d'effectuer la mesure de ces deux angles, ainsi que le contrôle par rotation autour de la normale au plan de repère.

La fixation des coordonnées des éléments cristallographiques se fera par un procédé analogue. Soit par exemple à relever un plan de clivage. Par une rotation autour de **N**, on fera coïncider la trace de ce clivage avec le plan de repère (fil N—S du réticule), puis on inclinera autour de **H** jusqu'à ce que la trace de ce clivage paraisse la plus fine possible, auquel cas le plan de clivage coïncidera avec le plan de repère. Les deux rotations autour de **N** et de **H** donneront les coordonnées cherchées. On opérerait de la même façon, s'il s'agissait d'un plan de macle ou d'un contour cristallin. Dans l'exposé qui suivra, nous supposerons que les divers axes de rotation mentionnés sont disposés invariablement de la façon suivante par rapport à l'observateur: l'axe **J** est orienté E—W, avec le bouton qui l'actionne toujours placé à l'E. Le plan de repère est orienté N—S, de même que l'axe **H**. Ces deux axes coïncideront donc avec les deux fils

du réticule d'un oculaire microscopique; le fil N—S sera dit vertical ou longitudinal, le fil E—W horizontal ou latéral.

Il s'agit maintenant de reporter sur une projection stéréographique, dont le plan est supposé parallèle à celui de la plaque, le plan d'élasticité dans la position où il se trouvait avant que, par la double rotation indiquée, nous l'ayons amené à coïncider avec le plan de repère. Nous avons pour ceci deux coordonnées: 1^o l'angle n , qui est celui formé par la trace du plan d'élasticité avec celle du plan de repère et 2^o l'angle h , qui est l'inclinaison de ce plan par rapport à la normale au plan de la plaque. En principe, cet angle h devrait être corrigé de la réfraction, mais nous n'en parlerons pas pour le moment et supposons celle-ci nulle. Il faudra donc, à partir du 0 du cercle de base qui est supposé mis en regard du bouton moteur de l'axe J, compter, en sens inverse de la rotation autour de N, la valeur de l'angle n mesuré, en traçant par le point ainsi obtenu un diamètre, qui représente la projection de la trace du grand cercle en question. On marquera par un signe spécial le point de l'extrémité de ce diamètre qui correspond à n , puis on mènera un diamètre normal au précédent, sur lequel se trouvera le pôle du grand cercle à tracer. On construira ensuite ce grand cercle dont l'inclinaison est donnée par l'angle h mesuré. Pour ceci, on fera tourner la projection de façon à ce que le diamètre passant par le chiffre n soit orienté N—S, avec le signe marqué en face de n toujours situé au N. A ce moment, la trace du cercle du plan d'élasticité correspond avec le diamètre N—S, et son pôle est situé sur le diamètre E—W. On regarde alors comment se trouve placé le bord relevé du disque. Si ce bord est relevé du côté de l'W, l'inclinaison se fait vers l'E, et il faudra reporter la valeur de h , à partir du centre, sur le diamètre horizontal et du côté de l'W. On fera l'inverse si le disque est relevé du côté opposé. On se rappellera donc de cette règle mnémotechnique: Il faut toujours reporter l'angle h du côté où se trouve le bord relevé du disque. Le report de l'angle h permettra de tracer le cercle par les procédés que nous donnerons ultérieurement, et on pourra aisément fixer le pôle de ce grand cercle, soit en comptant le complément de h à partir du centre, sur le diamètre E—W, soit en reportant la valeur de h à partir du cercle de base. Ce pôle sera l'un des axes d'élasticité n_g , n^m ou n_p .

La platine théodolite.

La platine théodolite réalise les conditions qui viennent d'être indiquées. C'est une platine adaptable, supportée par un bâtis, et qui peut se fixer dans une position stable sur la platine du microscope (fig. 2). En principe, elle se compose d'un anneau métallique horizontal gradué **A**, dont les rotations autour d'un axe **M** sont mesurées par un vernier. Les ro-

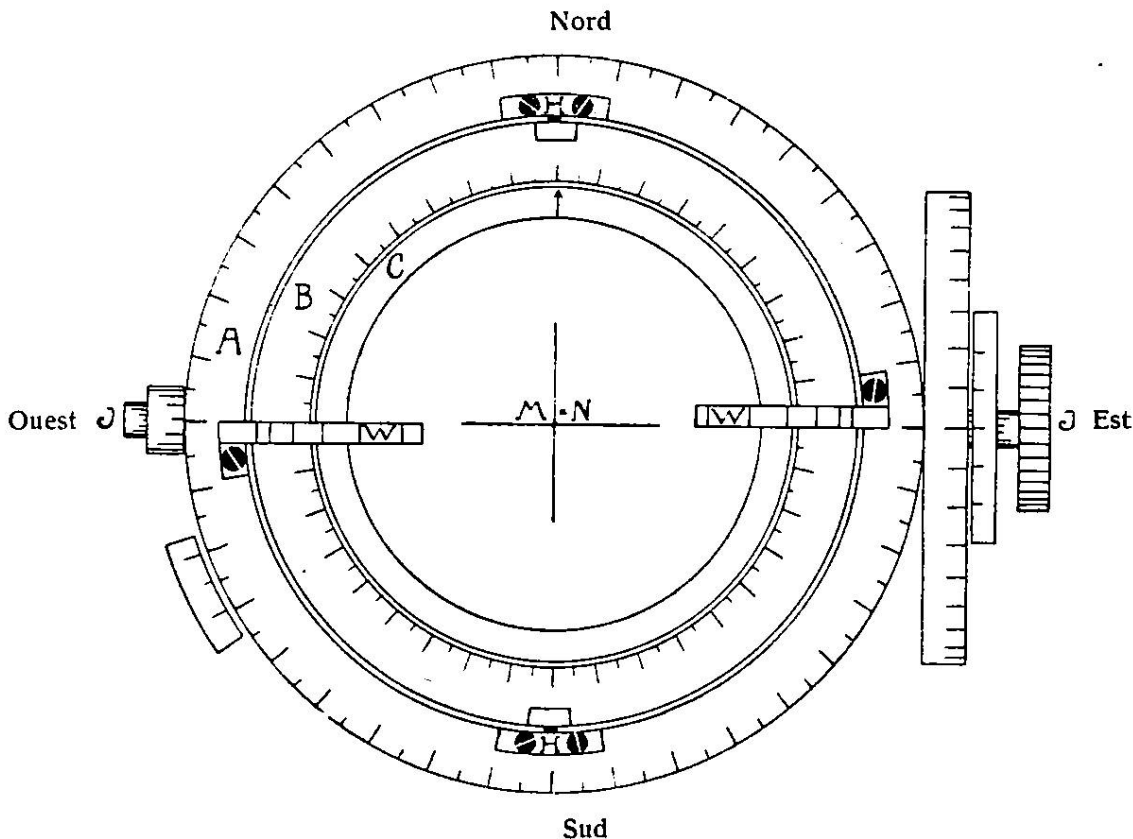


fig. 2. Disposition schématique des différents anneaux et axes de rotation de la platine théodolite. Vue d'en haut.

tations autour de cet axe ne sont ordinairement utilisées que pour le réglage de l'appareil. C'est le disque **A** qui supporte toute la platine proprement dite. Il est fixé à un axe horizontal **J**, qui permet d'imprimer à toute la platine une rotation dans le plan vertical. A l'intérieur de l'anneau **A** se trouve un second anneau gradué **B**, supporté par un axe horizontal **H**, autour duquel il peut tourner dans un plan perpendiculaire à **J** également. A l'intérieur de l'anneau **B** se trouve un troisième anneau **C**, dans lequel est enchassé un disque de verre qui supporte la préparation, et sur lequel un trait a été gravé pour évaluer les rotation autour de

N sur le cercle **B**. Cet axe **N** est perpendiculaire au plan du disque central, sur lequel on a tracé au diamant une croix qui sert de repère. L'axe **J** est monté sur un bâtis suffisamment élevé au-dessus de la platine du microscope pour qu'on puisse imprimer à la platine théodolite une rotation complète autour de l'axe **J**. La rotation autour de cet axe est évaluée sur un vernier. Ces différents anneaux peuvent être fixés par des vis de serrage. Les inclinaisons données à la plaque autour de l'axe **H** s'évaluent, dans les appareils modernes, par deux arcs de cercle, dits arcs de Wright **W**, fixés en regard l'un de l'autre sur le disque **A**. Nous avons donc avec le dispositif indiqué, le moyen d'évaluer les rotations autour de l'axe **N**, et les inclinaisons autour de l'axe **H**, qui sont les deux données nécessaires pour fixer les coordonnées d'un plan d'élasticité,

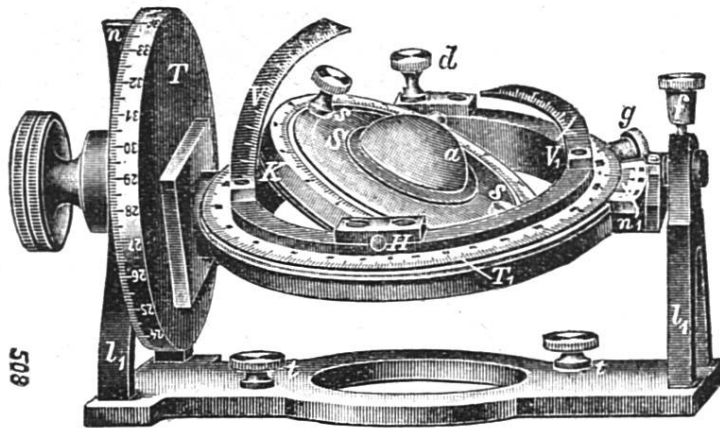


fig. 3. Vue perspective de la platine théodolite.

ou d'un plan directeur, tel qu'un plan de clivage, un plan de macle etc. Lorsque l'appareil est supposé en état de fonctionner, les axes **M**, **N** et l'axe de rotation de la platine du microscope doivent coïncider; l'axe **J** doit être perpendiculaire au plan de repère (fil N—S du réticule), et l'axe **H** doit être lui même absolument perpendiculaire à l'axe **J**. De plus, les graduations des anneaux doivent être: celle de **J** et celle de **H**, en regard du zéro des limbes, celle de **M** en regard de 90°, et la platine du microscope au zéro également, si l'appareil est idéalement construit. Comme il en est rarement ainsi, il faudra, pour chaque appareil, déterminer la correction à apporter aux différentes positions fondamentales. La fig. 3 donne la disposition réelle et non schématisée de la platine.

La préparation à étudier est fixée avec une goutte de glycérine sur le disque de verre, le cover contre le disque. Avec ce dispositif, vu la réflexion totale qui se produit inévitablement à la surface des minéraux pour des inclinaisons variables autour de H et de J , le champ d'investigation se trouverait très limité. Pour pouvoir l'étendre, on place le disque et la préparation entre deux demi-boules d'indice 1,5 environ. La demi-boule inférieure est fixée sur le disque de verre par adhérence, au moyen d'une goutte de glycérine. La demi-boule supérieure est montée dans une armature

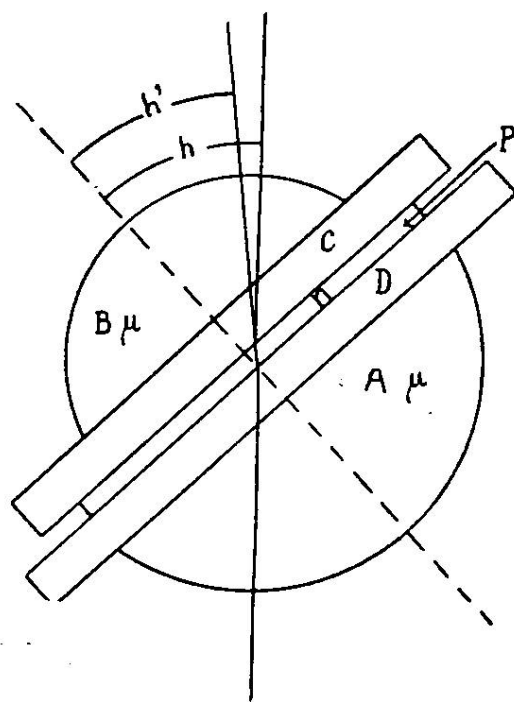


fig. 4. Disposition des demi-boules et marche des rayons à travers celles-ci et la préparation.

métallique, qu'on met au contact avec le porte objet de la préparation au moyen d'une goutte de glycérine également, et que l'on fixe définitivement au moyen de deux vis placées aux deux extrémités de l'armature et dont les écrous sont perforés dans l'anneau métallique du disque C . Le rôle de ces demi-boules est indiqué sans plus de commentaires par la fig. 4. L'inconvénient de la platine théodolite est que, vu le diamètre restreint de l'anneau interne C , on ne peut utiliser des coupes au format ordinaire, et on est forcé de faire exécuter celles-ci à un format réduit de 2 cm de côté, ou de 2 cm de diamètre, si on veut donner à la préparation une

forme circulaire. Récemment, le constructeur Winkel de Göttingen a établi une nouvelle platine théodolite, qui permet de travailler avec des coupes de format ordinaire. Nous ne l'avons jusqu'ici pas eue entre les mains.

Réglage de la platine théodolite.

Il faut procéder dans tous les cas au réglage de la platine théodolite et à la fixation des positions fondamentales, c'est à dire des zéros vrais des différentes graduations de l'appareil. Pour ceci, on commence tout d'abord à centrer le microscope, c'est à dire à faire coïncider l'axe de rotation de sa platine avec l'axe du microscope lui-même (ce qui est une opération analogue au centrage habituel). Puis on fixe la platine théodolite sur celle du microscope au moyen des vis destinées à cet usage, le limbe de l'axe **J** se trouvant à droite de l'observateur. Les écrous de ces vis sont disposés sur la platine de telle façon, que lorsque celle-ci est fixée, le centre du réticule de l'oculaire doit sensiblement coïncider avec celui de la croix gravé sur le disque de verre de la platine théodolite. Comme ce n'est jamais absolument le cas, on a laissé un peu de jeu aux trous pratiqué dans le support de la platine adaptable pour le passage des vis de serrage, à fin de permettre des petits déplacements dans le plan horizontal de la platine tout entière. On procède alors aux divers réglages comme suit :

1° Il faut vérifier si les axes **M** et **N** coïncident, et s'il coupent les axes **H** et **J** au centre de la croix gravée sur le disque de verre (car le centre de la croix de la platine marque le point de croisement de tous les axes et doit rester fixe dans n'importe quelle position). Pour ceci, on tourne successivement la platine autour des axes **M** et **N** et la coïncidence du centre du réticule de l'oculaire avec celui de la croix gravée sur le verre du disque doit persister. On incline ensuite autour de **H** et de **J**, il devrait en être de même; mais en réalité il y a toujours un petit décentrage qui résulte du fait que, dans la construction de la platine, les axes **J** et **H** passent légèrement au-dessus du disque de verre, puisqu'ils doivent être contenus dans le plan de la préparation. Si la coïncidence des centres ne persiste pas au cours des rotations, l'appareil a été mal construit, et ne peut être corrigé par le réglage.

2° Il faut faire coïncider l'axe **J** avec le fil transversal (orienté E—W) du réticule, et déterminer la position fondamentale de cet axe. Pour ceci, on tourne autour de **J** de façon à placer le disque **A** de la platine à 90° de sa position horizontale, la platine du microscope étant au zéro. On vise alors le bord extérieur du disque **A** qu'on amène tangent au fil transversal du réticule. Si à ce moment, le parallélisme n'est pas atteint, et si le disque fait avec le fil du réticule un petit angle, on rétablira ce parallélisme par une rotation de la platine du microscope dont le zéro sera nécessairement déplacé. On notera alors la position du limbe de l'axe **J**. Si la position fondamentale de **J** correspond au zéro de son limbe, la lecture faite sur celui-ci sera alors exactement de 90° ou 270° , suivant le sens de la rotation. S'il est plus grand que 90° ou que 270° , on ajoutera la différence au zéro pour avoir la position fondamentale; dans le cas contraire, on la retranchera. Si par exemple on trouve 91° ou 271° , la position fondamentale de l'axe **J** est alors à $+1^\circ$ au lieu de $0^\circ = 360^\circ$, et il faudra de chaque angle mesuré, soustraire 1° . Si au contraire la chiffre trouvé était 88° ou 268° , la position du zéro se trouverait en face de 358° , et il faudrait ajouter à chaque mesure 2° . Il est entendu qu'on fera le contrôle du parallélisme de l'axe **J** dans les deux positions opposées. Si cependant la différence des deux lectures pour ces deux positions n'est pas égale à 180° , cela prouve que l'axe **J** n'est pas compris dans le plan de la plaque et l'instrument est alors inutilisable. De même, si pour une rotation de 180° de la platine, le parallélisme du bord de celle-ci et du fil du réticule était détruit, cela proviendrait, ou bien du fait que l'axe **J** n'est pas parallèle à l'anneau **A**, ou encore que les axes **J** et **N** ne sont pas perpendiculaires entre eux, défaut de construction qui ne saurait être modifié par le réglage.

3° L'axe **H**, qui correspond au zéro du disque **A**, doit être parallèle au fil longitudinal (N—S) du réticule, et perpendiculaire à l'axe **J**. Pour ceci, on incline l'anneau **B** autour de **H** de façon qu'il soit perpendiculaire à la platine du microscope, et on vise à nouveau le bord extérieur de l'anneau. Par une rotation autour de **M**, on amène ce bord parallèle au fil transversal du réticule. Si l'appareil est bien construit, le cercle gradué de **M** doit être en regard de zéro, ou de 180° . Dans le cas contraire, il faudra noter la position

qui sera celle fondamentale de l'axe **M**, puis tourner de 90° autour de cet axe, pour placer l'axe **H** perpendiculaire à **J**, ce qui est la position fondamentale de l'axe **H** avec laquelle on travaille. La coïncidence de l'anneau **B** avec le fil transversal du réticule doit être d'ailleurs obtenue dans deux positions à 180° l'une de l'autre.

4^o Fixation du zéro de l'axe **H**. Pour fixer ce zéro, on incline l'anneau **B** autour de l'axe **H** d'un angle de 50° environ, puis tournant autour de **M**, on place l'anneau **A** dans sa position fondamentale, qui correspond avec celle pour laquelle l'anneau **B** est parallèle au fil transversal du réticule. On tourne alors autour de **J**, de façon à amener successivement le bord supérieur de l'anneau **A** et celui de l'anneau **B** en coïncidence avec le fil transversal (E—W) du réticule, et on notera la rotation imprimée sur le limbe de **J**, en tenant compte de la correction apportée à sa position fondamentale. Si la mesure concorde avec celle donnée par les arcs de Wright, il n'y a pas de correction à apporter à celui-ci. Dans le cas contraire, il faudrait ajouter ou retrancher de chaque lecture la correction trouvée.

En résumé: Nous aurons à inscrire une fois pour toutes les positions fondamentales de l'appareil, soit la correspondance du zéro des axes **J**, **M** et **H**, ainsi que celle de la platine graduée du microscope. Il est évident qu'au cours des différentes opérations indiquées, on fixe successivement par les vis d'arrêt les axes des anneaux qui doivent rester immobiles. En pratique, lorsqu'on a contrôlé une fois pour toutes qu'une platine est bien construite, il suffit, quand on veut s'en servir, de la placer sur celle du microscope, en amenant tout d'abord la coïncidence du centre du réticule gravé sur verre avec celui de l'oculaire, puis de tourner autour de **J** de façon à amener le bord du disque **A** tangent au fil du réticule, et d'amener également, si cela est nécessaire, le parallélisme de ce disque avec le fil horizontal, en tournant légèrement la platine du microscope.

Le microscope théodolite.

Dans cet appareil construit par Fuess, et dont la disposition découle aisément de l'examen de la fig. 5, la platine du microscope toute entière est disposée de la même façon que la platine théodolite, et tourne autour de l'axe **J** qui est fixé lui-même dans le bâtis du microscope. Cette construc-

tion permet de donner aux différents anneaux un diamètre plus grand que sur la platine adaptable, de sorte que l'on peut avec ces appareils, utiliser les préparations du format

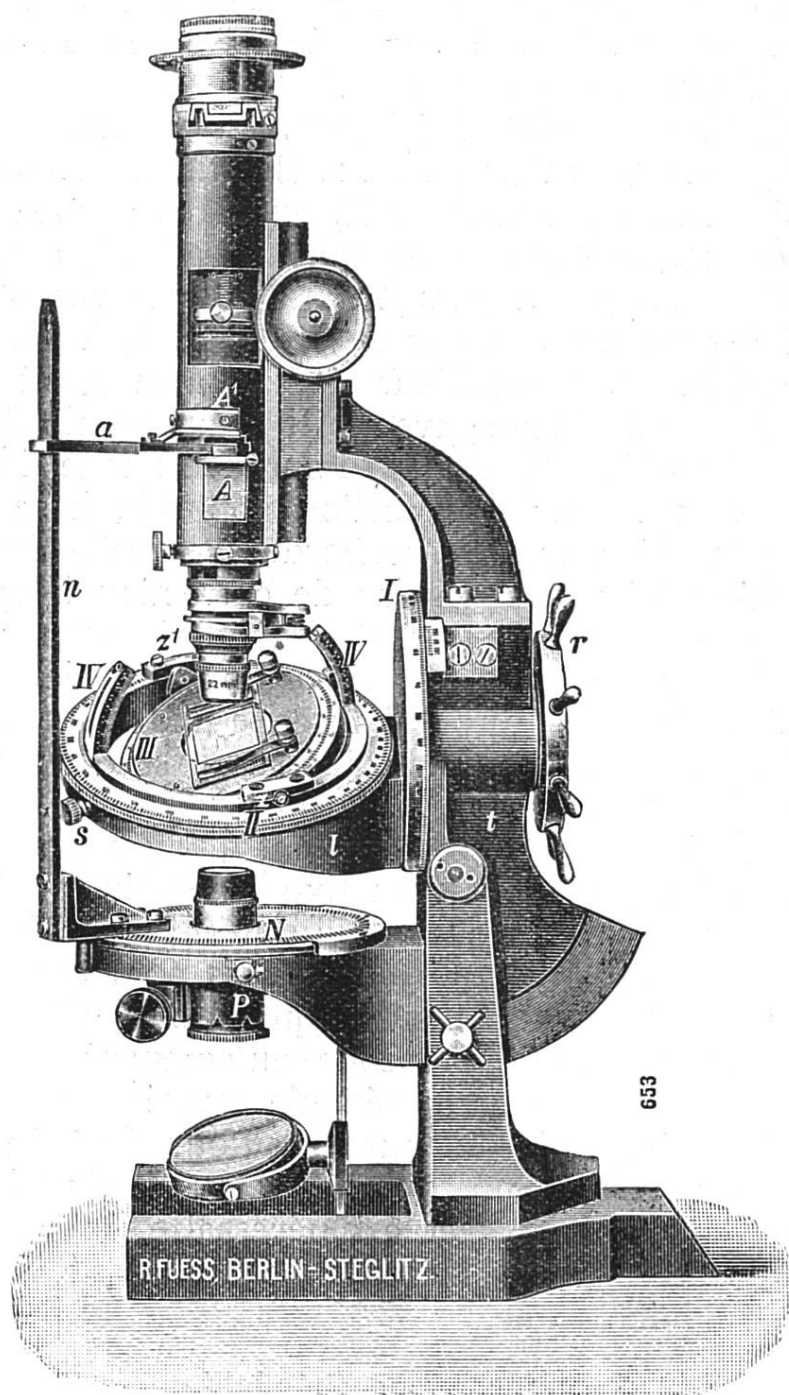


fig. 5. Microscope théodolite, type de la maison Fuess.

habituel. La seule différence que présente la platine de ce microscope avec la platine adaptable, c'est que le disque métallique central **C** est monté intérieurement comme une vis

à écrou, ce qui permet de l'abaisser ou de l'élever après avoir desserré une vis d'arrêt. Avec ce dispositif, on peut toujours faire passer l'axe **J** par le plan de la coupe mince, ce qu'on verra d'ailleurs par le fait qu'une rotation autour de **J** ou de **H** n'entraîne aucun décentrage de la préparation. Comme l'axe **J** ne peut être déplacé par rapport aux sections principales des nicols, il faut par conséquent pouvoir tourner les nicols par rapport à cet axe. Le microscope possède donc un système de nicols tournants croisés, qui sont disposés suivant le type adopté par Wright. La rotation simultanée de ces deux nicols croisés se fait au moyen d'une tige; elle est mesurée sur une platine graduée fixe, située au-dessous de la platine théodolite, et à une distance suffisamment grande pour ne pas gêner les rotations de celle-ci. De plus, l'oculaire du microscope est à grand champ, et possède une gaine qui permet d'introduire soit un compensateur, soit une lame sensible de Wright. Le fonctionnement du microscope théodolite est identique à celui de la platine adaptable; il faudra seulement se rappeler que, tandis que dans celle-ci, l'axe **J** est orienté E—W, c'est à dire transversalement, avec son limbe à l'E, dans le microscope théodolite il est orienté N—S, c'est à dire longitudinalement, avec son limbe placé au S, contre l'observateur. Il en résulte que dans les reports pour la construction du plan d'élasticité, il faudra faire coïncider la trace de ce plan, donné par l'angle n , avec la direction E—W, le signe mis en regard du chiffre n étant placé sur la projection du côté E.

Réglage du microscope théodolite.

1° Il faut tout d'abord placer **J** parallèlement au fil longitudinal du réticule, et vérifier la véritable position du zéro de cet axe. Pour ceci, on tourne le disque **A** autour de l'axe **N** de façon à placer l'axe **H** à 90° de **J**, puis on tourne autour de **J** de 90° de façon à amener le plan du disque **A**, ou encore la ligne de jonction qui existe entre ce disque et la pièce métallique qui fixe le tourillon de l'axe **H** en coïncidence avec le fil du réticule. A ce moment il doit être parallèle au bord du disque. Si tel n'est pas le cas, on ne peut pas agir sur la platine, mais bien sur le réticule de l'oculaire, qu'on tournera à l'aide d'une clef, jusqu'à ce que le parallélisme soit obtenu. Le microscope possède d'ailleurs un dispositif, permettant de faire tourner tout le tube porte ocu-

laire autour de son axe et de régler ainsi le réticule, ce qui est plus commode que d'employer la clef. On lira maintenant la position de l'axe J sur le cercle gradué de cet axe, pour savoir quelle est la correction à apporter au zéro, ce qui se fera comme dans le cas de la platine adaptable. On vérifiera dans la direction opposée à 180° de la première, si le parallélisme reste constant; si tel n'était pas le cas, la construction serait défectueuse. On vérifiera également le zéro dans cette position.

2° Vérification de l'orientation des sections principales des nicols. Il faut que celles-ci soient parallèles aux deux fils du réticule. Cette vérification n'avait pas besoin d'être faite dans le cas de la platine adaptable, puisque pour le réglage, on n'a pas eu à toucher au réticule. On mettra sur la platine une lame d'anhydrite, et on fera coïncider la trace de son clivage avec l'un des fils du réticule. On verra à ce moment si, les nicols étant croisés, l'obscurité persiste. Si tel n'est pas le cas, on tournera les deux nicols dans leur gaine au moyen d'une clef, jusqu'à ce que ce résultat soit obtenu.

3° Il faut vérifier si l'axe du microscope passe par le centre du réticule gravé sur le disque de verre de la platine. Pour ceci, on place par des rotations convenables tous les anneaux de la platine dans le même plan et l'axe J à son zéro, de façon à ce que l'axe du microscope soit perpendiculaire sur le plan de la platine, puis on met sur celle-ci une coupe mince quelconque, et on centre au moyen des vis de centrage de l'objectif, comme à l'ordinaire, en tournant autour de M, l'axe J étant fixé par sa vis de serrage. On enlève ensuite la préparation et met au point la croix gravée sur le disque de verre, dont le centre doit coïncider avec celui des fils du réticule de l'oculaire. En tournant autour de M, la coïncidence des centres doit persister, ou tout au moins l'écart doit être peu considérable. Dans le cas contraire, il faudra déplacer légèrement le disque de verre dans son anneau métallique, jusqu'à ce que cette coïncidence soit obtenue, puis on le fixe dans celui-ci au moyen d'une goutte de colle.

4° Il faut placer l'axe H normalement à l'axe J. On opérera comme dans le cas de la platine adaptable.

5° Vérification des zéros des arcs de Wright. On opérera exactement comme dans le cas indiqué précédemment.

Avec le microscope théodolite, il faudra remarquer que les inclinaisons autour de **H** se font dans le sens longitudinal, donc vers le **N** ou vers le **S**, et les inclinaisons autour de **J** dans le sens transversal, soit vers l'**E** ou vers l'**W**. Pour la platine adaptable, les rotations autour de **H** se font vers l'**E** ou vers l'**W**, et celles de **J** vers le **N** ou vers le **S**.

Marche générale d'une détermination.

A. Cas de la platine adaptable.

La préparation ayant été placée avec son cover contre le disque de verre de la platine, après avoir mis une goutte de glycérine sur celui-ci, on adapte alors le ménisque inférieur, puis on visse le ménisque supérieur contre le porte objet de la préparation, après avoir mis également entre les deux une goutte de glycérine. Au début, on ne serre pas à fond les vis du ménisque supérieur, de façon à pouvoir déplacer la préparation sous le ménisque et amener la section à étudier au centre du réticule. On serre alors avec précaution et simultanément les deux vis, en évitant un porte-à-faux et un serrage trop intense. Tous les cercles sont ensuite placés dans leurs positions fondamentales. Ceci fait, on tourne le disque **C** autour de l'axe **N**, de façon à éteindre la section, puis on tourne ensuite autour de l'axe **J** pour vérifier si l'extinction persiste. Si tel n'est pas le cas, on tourne autour de **N** de 90° pour obtenir la seconde position d'extinction de la section, et on répète la rotation autour de **J**. Si la lumière est également rétablie, on choisira celle des deux positions d'extinction pour laquelle le rétablissement de la lumière est minimum. Ramenant par rotation autour de **N** la section dans cette position, on incline la préparation autour de l'axe **J** de façon à obtenir le maximum de lumière, puis on incline ensuite autour de **H** dans un sens ou dans l'autre, de façon à rétablir l'obscurité, en vérifiant par rotation autour de **J** si cette obscurité persiste. Si tel n'est pas le cas, on placera la section inclinée autour de **J** dans la position du maximum de lumière et on rétablira l'extinction par une rotation autour de **N**. On répètera ces deux opérations jusqu'à ce que, par tâtonnements successifs, on ait obtenu l'obscurité complète de la section pour toutes les rotations possibles autour de **J**. On lira alors par le déplacement de l'index de l'anneau **C** sur le cercle **B**, l'angle de rotation **n**,

puis sur les arcs de Wright, l'angle d'inclinaison h , en notant soigneusement si le bord relevé du disque se trouve à l'E ou à l'W.

Détermination du premier plan d'élasticité.

Il s'agit maintenant de savoir quel est le plan d'élasticité dont nous avons relevé les coordonnées. Pour ceci, on tourne la platine du microscope en sens inverse du mouvement des aiguilles d'une montre, de façon à placer J à 45° des sections principales des nicols, le bouton moteur de cet axe se trouvant placé au NE. La lumière est alors rétablie, puisque le plan d'élasticité trouvé est à 45° des nicols. On tourne alors autour de J , ce qui amène successivement toute une série de sections de l'ellipsoïde dont l'un des axes, invariable, coïncide avec J ; les deux autres, variables, sont contenus dans le plan perpendiculaire. Deux cas sont alors possibles :

1^o. La section ne devient obscure dans aucune des positions obtenues par rotation autour de J . La conclusion est que le plan d'élasticité trouvé n'est pas le plan des axes optiques, et que l'axe de l'ellipsoïde qui coïncide avec J , et dont nous reportons le pôle sur la projection, n'est pas n_m . Pour savoir quel est cet axe, nous introduirons dans la gaine qui est au-dessus de l'objectif, un coin en quartz, dont le petit côté parallèle à n_g , se trouve donc parallèle à la direction de l'axe J . Si après cette introduction la teinte de la polarisation monte, l'axe de l'ellipsoïde qui coïncide avec J , et qui est donc normal sur le plan d'élasticité trouvé, sera n_g . Dans le cas contraire, ce sera n_p . Par conséquent, lorsque nous construirons avec les coordonnées relevées le grand cercle qui correspond à ce plan d'élasticité, on inscrira devant le pôle de ce grand cercle n_g ou n_p , suivant le résultat trouvé. Nous ferons remarquer qu'il n'est pas nécessaire d'employer un coin taillé comme celui indiqué; s'il était orienté différemment, on en tiendrait naturellement compte.

2^o Par suite de la rotation autour de J , la biréfringence décroît progressivement, et pour une certaine rotation, la section paraît obscure. Cette obscurité persiste par une rotation de la platine du microscope. Le plan d'élasticité trouvé est alors le plan des axes optiques, et le pôle de ce plan est l'axe n_m . Il faudra mesurer la rotation autour de J qui a produit ce résultat, en notant si cette rotation a été faite vers le NW ou le SE. On tournera ensuite en sens

inverse autour de J pour trouver le deuxième axe optique, qui se manifestera de la même façon. Dans un très grand nombre de cas cependant, le second axe optique ne pourra pas être amené en coïncidence avec l'axe du microscope, ce qui n'offre d'ailleurs aucun inconvénient. Les différentes mesures effectuées sont inscrites comme suit, en prenant des chiffres quelconques.

Premier cas: $n = 288^\circ$. $h = 3^\circ$. Bord relevé à l'W.
 $J = n_p$.

Deuxième cas: $n = 197^\circ$. $h = 41^\circ$. Bord relevé à l'E.
 $J = n_m$. JA^1 (angle de rotation autour de J pour amener la coïncidence de l'axe optique avec celui du microscope) $= 53^\circ$ au N; $JA^2 = 54^\circ$ au S.

Recherche du deuxième plan d'élasticité.

On pourrait rechercher ce second plan par tâtonnements successifs, mais on peut tout de suite savoir qu'elle est approximativement la valeur à donner à n pour obtenir successivement les deux plans d'élasticité qui restent à déterminer. On utilisera pour ceci la formule suivante, due à Nikitin $n^2 = n^1 \pm (90^\circ - h^1)$, dans laquelle n^1 et h^1 sont les deux coordonnées du premier plan d'élasticité trouvé, la platine devant être inclinée en sens contraire de h^1 . Nous obtenons donc pour n^2 deux valeurs, qui doivent correspondre aux deux positions pour lesquelles on pourra relever les deux plans d'élasticité. Si la valeur de n^2 est négative, il suffira de la soustraire de 360° . Ces valeurs étant calculées, on amènera successivement l'index de l'anneau C en face de la graduation qui leur correspond, et on cherchera celle de ces deux valeurs pour laquelle l'inclinaison à donner autour de H est la plus faible pour obtenir une obscurité persistante par rotation autour de J . On s'arrêtera dans cette position, et on déterminera les coordonnées n^2 et h^2 de ce plan exactement comme on l'a fait pour le premier, en vérifiant si l'axe J coïncide avec n_g , n_m ou n_p . Les résultats seront inscrits de la même façon qu'il a été indiqué ci-dessus.

Recherche du troisième plan d'élasticité.

Ses coordonnées seront déterminées de la même façon que celles du second plan, en partant de la seconde valeur calculée pour n^2 . Si l'inclinaison à donner à h est trop considé-

nable, les valeurs que nous obtiendrons seront approximatives, et ne pourront servir que de contrôle. Il sera préférable de tracer directement le troisième plan d'élasticité sur la projection, lequel se trouvera à 90° de l'intersection des deux premiers qui en est le pôle. Il arrive quelquefois que c'est précisément le plan des axes optiques qui se trouve dans ces conditions défavorables, ce qui enlève beaucoup de précision à la fixation de la position des axes optiques sur ce plan. Il peut arriver également que la section étudiée soit optiquement orientée, et que l'un des plans d'élasticité coïncide sensiblement avec le cercle de base de la projection. Dans ce cas, il est impossible de relever expérimentalement le troisième plan d'élasticité.

Relevés des plans de clivage, des contours et des plans de macle.

Pour déterminer les coordonnées d'un plan de clivage, on placera, comme nous l'avons dit, la trace de ce clivage parallèlement au fil longitudinal du réticule, et après avoir retiré l'analyseur, on inclinera dans un sens ou dans l'autre autour de **H**, jusqu'au moment où la trace de ce clivage paraîtra la plus fine possible. On sera assuré que ce résultat est obtenu lorsque les franges de Becke se produiront de part et d'autre de la trace de clivage avec la même intensité quand on remonte le tube du microscope. On notera alors comme d'habitude les deux coordonnées **n** et **h**.

Les contour cristallographiques se relèveront comme les clivages, et la connaissance de leurs coordonnées permettra de connaître les combinaisons réalisées, en utilisant un ouvrage donnant la position des faces cristallines en coordonnées sphériques (Goldschmidt, Winkeltabellen).

Les plans de macle se relèveront comme les clivages, mais en intercalant l'analyseur, faute de quoi la trace de ces plans ne serait pas visible.

B. Cas du microscope théodolite.

On procèdera avec le microscope théodolite exactement comme avec la platine adaptable, mais pour amener l'obscurité de la section, il faudra incliner autour de **H** dans le sens longitudinal, c'est à dire vers le **N** ou vers le **S**, en contrôlant la persistance de l'obscurité par rotation autour de **J**.

Pour vérifier la nature du plan d'élasticité, on tournera les nicols de 45° au moyen de la tige indiquée, et on répètera toutes les opérations décrites à propos de la platine adaptable. Si le premier plan d'élasticité trouvé n'est pas le plan des axes optiques, on vérifiera la nature de l'axe qui coïncide avec **J** au moyen du coin en quartz, qu'on introduit dans la gaine au-dessus de l'objectif, gaine qui est orientée de façon à ce que le grand côté du rectangle de la plaque de verre sur laquelle est fixé le quartz compensateur soit normale à l'axe **J**, ce qui amène comme précédemment la direction n_g du quartz parallèle à cet axe. Si le premier plan d'élasticité trouvé est par contre le plan des axes optiques, on tournera autour de **J** de l'E à l'W ou de l'W à l'E, jusqu'à ce qu'un des axes optiques coïncide avec l'axe du microscope. Les relevés des angles observés s'inscriront conformément au schéma indiqués. Il faudra seulement, pour les inclinaisons autour de **H**, transformer la position du bord relevé du disque en N ou S au lieu de E ou W, et les rotations autour de **J** contre l'W ou contre l'E, au lieu de contre le N et le S, ce qui indique par conséquent l'inclinaison autour de cet axe pour amener l'un des axes optiques dans le champ du microscope. Pour les relevés des plans de clivage, plans de macle etc., on procèdera comme avec la platine adaptable, et l'on pourra faire coïncider à volonté leurs traces avec le fil longitudinal ou transversal du réticule. Dans le premier cas, il faudra tourner autour de **J** pour obtenir la position de la plus grande finesse de la ligne, et on inscrira alors si l'on a tourné contre l'E ou contre l'W. Dans le second cas, on inclinera autour de **H**, et l'on mesurera l'angle d'inclinaison en notant si le bord relevé du disque se trouve au N ou au S. On se rappellera seulement pour le report des plans d'élasticité, que la marque mise en regard du chiffre **n** doit, par une rotation appropriée de la projection, toujours coïncider avec l'extrémité E du diamètre E—W de la platine.

Correction de la réfraction.

Nous avons supposé que les valeurs de **h** relevées sur les arcs de Wright pouvaient être utilisées telles quelles. Ce serait le cas, si l'indice de réfraction moyen du minéral était égal ou très voisin de celui de la demi-boule, ce qui est pratiquement réalisé pour les feldspaths. En fait les rayons

qui passent à travers la section inclinée, subissent une réfraction, et l'angle de h que nous mesurons au sortir de la demi-boule n'est pas égal à l'angle h' formé par le même rayon avec la normale dans le minéral. Mais cet angle est

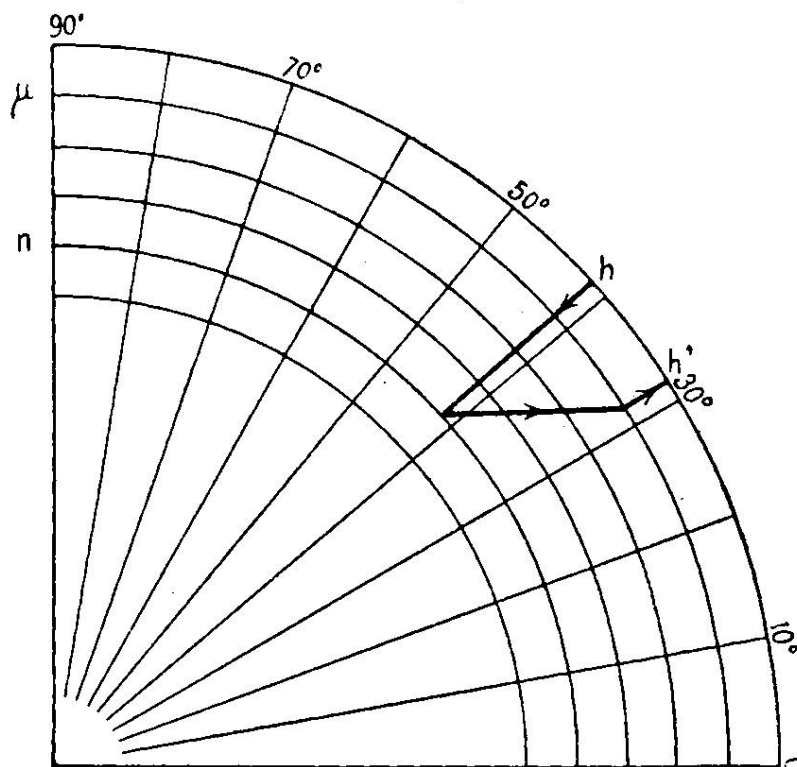


fig. 6. Abaque de Fédorof pour résoudre graphiquement la formule

$$\frac{\sin h}{\sin h'} = \frac{n}{\mu}$$

(correction de la réfraction pour l'angle h).

facile à calculer (voir fig. 4, page 10). Si n est l'indice moyen du minéral et μ celui de la demi-boule, nous aurons la relation :

$$\frac{\sin h}{\sin h'} = \frac{n}{\mu}$$

Fédorof a construit une abaque¹⁾ qui permet de résoudre graphiquement cette formule, et dont nous donnons le principe ci-dessus (fig. 6). On y voit la façon de procéder pour

¹⁾ Cette abaque peut se trouver à grande échelle dans l'ouvrage de Nikitin (traduction française par L. Duparc et V. de Dervies), puis dans Wright; The methods of petrographic-microscopic research.

une valeur quelconque de h ; par exemple, pour $h = 41^\circ$, $n = 1,7$, $\mu = 1,52$, h' est alors de 33° environ.

Report des résultats obtenus.

La construction des plans et des axes d'élasticité principaux, des axes optiques et des éléments cristallographiques, peut se faire indifféremment au moyen de la sphère de Nikitin, du canevas de Fédorof, et du canevas de Wulff.

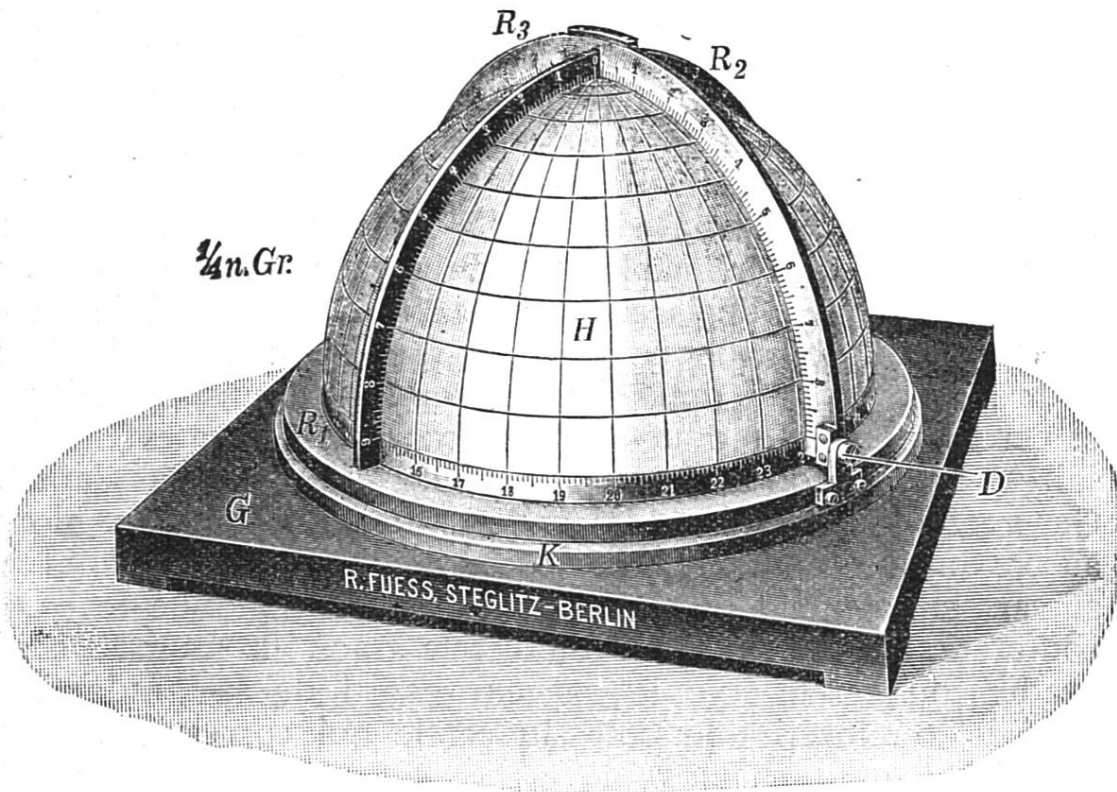


fig. 7. Hémisphère de Nikitin.

Hémisphère de Nikitin.

C'est un hémisphère de porcelaine creux H (fig. 7), fixé à son équateur dans un anneau métallique gradué de 0° à 360° en sens inverse du mouvement des aiguilles d'une montre, donc en sens inverse du cercle qui mesure les rotations autour de l'axe **N**. La base de l'hémisphère est maintenue sur un plateau de bois G; autour de l'anneau équatorial gradué peut tourner un système de cercles métalliques formés d'un anneau horizontal R^1 , sur lequel est fixé perpendiculairement un cercle métallique méridien R^2 , gradué de 0 à 90° de part et d'autre du pôle du plan équa-

torial. A 90° de celui-ci se trouve un second cercle métallique gradué également R^3 , mobile au tour d'un axe horizontal D, dont les tourillons sont situés dans le plan équatorial et fixés sur l'anneau R^1 . Le plan équatorial de la sphère correspond au plan de la préparation. Les reports d'un plan d'élasticité avec cet appareil se font de la façon suivante :

A. Cas de platine adaptable.

Plaçant le cercle mobile R^3 , dont le côté gradué fait face à l'observateur de façon à ce qu'il passe par le 0° du cercle fixe R^1 qui doit se trouver à l'E, et par le 0° de R^2 , on fait tourner tout le système des cercles de façon à amener le côté gradué de R^3 en regard de la division correspondante à n sur le cercle de base R^1 et on marquera cette position par un signe sur l'hémisphère.¹⁾ Faisant maintenant tourner tout l'appareil en déplaçant la planche de bois qui le supporte, on fait coïncider le signe marqué avec le Nord, c'est à dire avec le côté opposé à l'observateur, puis on incline le cercle mobile R^3 d'un angle h (corrigé si cela est nécessaire), du côté où se trouvait le bord relevé de la platine. Cet angle est mesuré sur le cercle gradué R^2 . On trace alors au crayon le grand cercle qui correspond à cette position, en suivant simplement le côté gradué du cercle mobile R^3 . On comptera ensuite, à partir du cercle tracé, 90° sur le côté gradué du cercle fixe R^2 , et en regard de la graduation trouvée, on inscrira le pôle du cercle qui correspond avec l'un des axes de l'ellipsoïde n_g , n_m ou n_p . Si le plan tracé est celui des axes optiques, on reportera sur le cercle R^3 , et en sens inverse de la rotation autour de J (donc vers le N si la rotation était vers le S et vice versa) l'angle JA^1 ou JA^2 corrigé ou non.

On construira le second plan d'élasticité de la même façon ; il coupera le premier et devra théoriquement passer par son pôle. L'écart entre cette position théorique et celle pratiquement obtenue, dépend ou de l'exactitude des me-

¹⁾ Dans les rotations de l'anneau R^3 autour de celui R^1 , il faudra toujours déplacer l'extrémité qui était en regard du 0 de R^1 , et ne pas changer l'extrémité au cours des rotations en sens contraire des aiguilles d'une montre. Il est de plus indifférent de placer la graduation de R^3 contre l'observateur, ou du côté opposé, à la condition de ne jamais, au cours des rotations, changer de convention.

sures, ou du fait que la correction apportée aux inclinaisons h est insuffisante, ce qui provient ordinairement d'une mauvaise valeur attribuée à l'indice de réfraction du minéral. Si on a pu relever le troisième plan d'élasticité, on le tracera de même. Dans le cas contraire, on construira ce troisième plan à 90° du pôle de l'axe fourni par l'intersection des deux premiers, qui correspond d'ailleurs au troisième pôle. Pour ceci, on fera tourner le système des cercles de façon à ce que le cercle fixe R^2 passe par le point en question, du côté de sa face graduée, puis on inclinera le cercle mobile R^3 de 90° à partir de ce point, et on tracera le cercle correspondant en suivant la face graduée de l'anneau métallique. Si les mesures sont exactes, le troisième cercle doit sensiblement passer par les pôles des deux axes déterminés directement.

Les clivages et les plans de macle se reportent exactement comme les plans d'élasticité.

Remarque : La manière dont nous employons l'hémisphère de Nikitin n'est pas conforme à celle donnée par l'auteur, qui mesure les angles n par le déplacement de l'arc fixe R^2 sur le cercle gradué horizontal. Ce qui nous a engagés à adopter la forme indiquée, c'est que, en travaillant de la sorte, les reports sur l'hémisphère sont absolument conformes à ceux faits sur la projection, de sorte que de cette façon, les divers cercles de l'hémisphère reproduisent fidèlement la disposition de la platine. L'arc mobile R^2 sur lequel on reporte les pôles du plan d'élasticité, coïncide avec l'axe J , et le cercle mobile R^3 avec l'anneau B de la platine. Son axe de rotation lui-même correspond avec H . Dans ces conditions, le cercle mobile R^3 aura toujours, au moment où on tracera le cercle, la position qu'à le bord relevé de la platine.

B. Cas du microscope théodolite.

Dans ce cas, on procédera pour le report de l'angle n comme précédemment, puis on fera tourner tout l'appareil de façon à ce que le signe inscrit en regard de n se trouve placé à l'E. Le disque immobile R^2 est alors orienté N—S; on inclinera ensuite R^3 de l'angle h , c'est à dire du côté du bord relevé de la platine, soit donc au N ou au S. Pour le report des axes optiques, on fera coïncider l'anneau R^3 avec leur plan déjà tracé, et on reportera au moyen de la graduation de cet anneau, et en sens inverse de la rotation autour de J , les angles JA^1 et JA^2 .

Canevas de Fédorof et appareils qui l'accompagnent.

Ce canevas, qui est reproduit dans la fig. 8, consiste en un cercle fondamental, de 10 cm de rayon, portant sur son

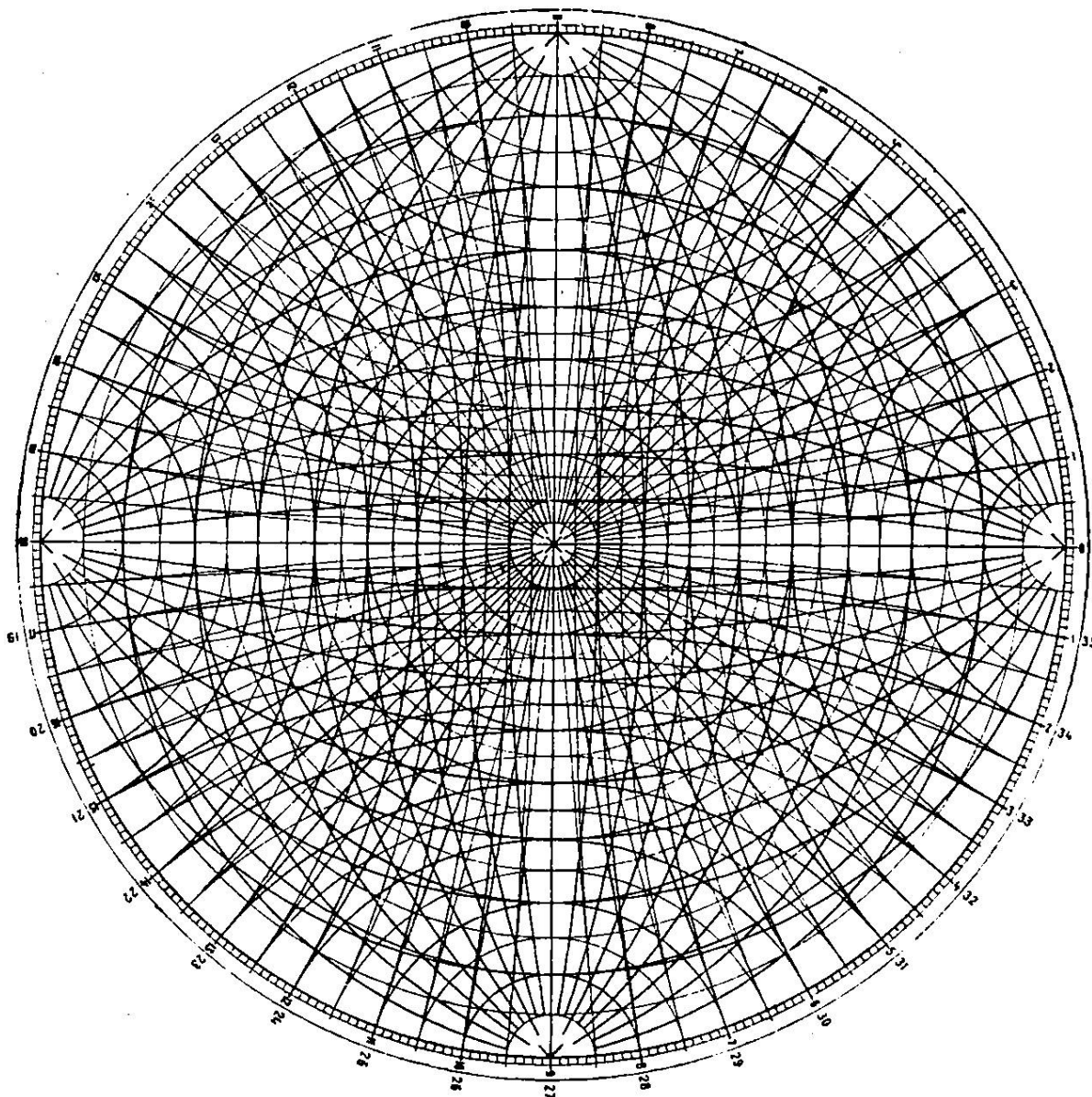
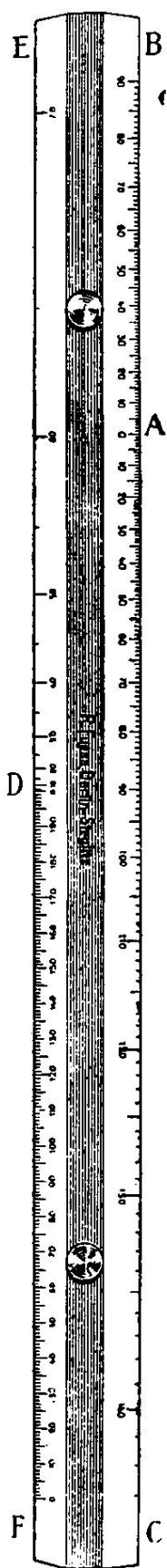


fig. 8. Canevas de Fédorof.

pourtour une division de zéro à 360°, inscrite en sens inverse du mouvement des aiguilles d'une montre. On y a tracé un triple système de grands cercles méridiens et de petits cercles parallèles. Les méridiens sont tracés de 10° en 10°, à l'exception de ceux perpendiculaires au plan équatorial, qui sont de 5° en 5°. Les petits cercles sont disposés



de 5° en 5° également. On utilise avec ce canevas plusieurs appareils qui sont :

La règle stéréographique (fig. 9). Celle-ci sert à projeter stéréographiquement le pôle d'une face donnée par sa distance polaire, comme aussi de trouver le centre d'un grand cercle dont on connaît la trace et l'inclinaison par rapport à la normale au plan de projection. C'est une règle métallique, construite d'après la formule $d = 10 \operatorname{tg} \varphi$, qui donne les projections de degré en degré; φ représente en l'espèce la distance angulaire par rapport au pôle de la projection.

Règle pour tracer les grands cercles (fig. 10). Comme du reste la règle stéréographique, cet appareil est construit exclusivement pour un canevas du diamètre indiqué; elle sert à tracer les grands cercles dont l'inclinaison par rapport à la normale au plan de projection ne dépasse 20° et dont par conséquent le rayon est trop grand pour être tracé avec un compas ordinaire. Cet appareil consiste en une lame d'acier, incurvée plus ou moins par une pression obtenue par l'intermédiaire d'un pivot agissant sur une barre fixe, par la rotation d'un excentrique. On peut fixer la lame d'acier dans une position déterminée au moyen d'une vis, qui serre le pivot. La courbure communiquée à la lame est indiquée par un index, correspondant à l'inclinaison du grand cercle à tracer. Tout le système est fixe sur une planchette d'acier. Pour se servir de l'instrument on met l'index en regard du chiffre correspondant à l'inclinaison du cercle. On serre la vis, et on place l'appareil sur le canevas de façon à ce que la règle passe par les deux extrémités de la trace du cercle à décrire. On dessine ensuite le cercle en suivant la règle.

Compas à 3 pointes.

C'est un compas dont deux des branches ont une longueur égale, tandis que la troisième, qui court dans une glissière, peut s'allonger suivant les besoins (fig. 11). Les deux premières branches

fig. 9. Règle stéréographique.
 $\frac{1}{8}$ de la gr. nat.

peuvent pivoter autour d'un premier axe, la seconde autour d'un second axe perpendiculaire au premier. On se sert de ce compas pour évaluer l'angle compris entre deux pôles sur la projection. Pour ceci, on place la branche de longueur variable au centre du diagramme, et les deux branches de longueur fixe sur les deux pôles dont on veut mesurer la distance angulaire. On fait alors pivoter le compas autour

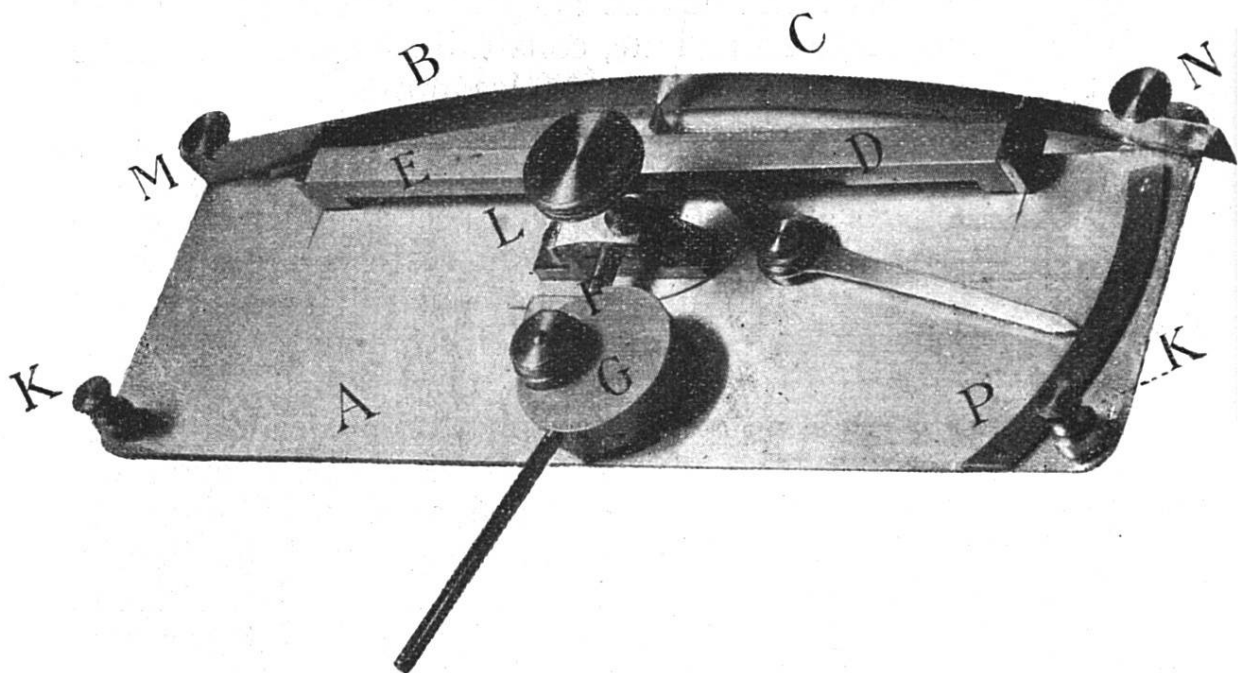


fig. 10. Règle pour tracer les grands cercles. $\frac{1}{3}$ de la gr. nat.

de la pointe située au centre du canevas, jusqu'à ce que les deux pointes jalonnant les pôles coïncident avec un cercle méridien. On compte ensuite, au moyen des petits cercles parallèles compris entre les deux pointes, la distance angulaire cherchée. Comme les cercles méridiens sont dessinés de 5° en 5° , il arrive fréquemment que les deux pointes ne tombent pas sur un des cercles tracés, mais sur un méridien qui doit être interpolé. On pourra toujours cependant utiliser le cercle voisin pour compter les petits cercles parallèles. On se servira aussi du compas à trois pointes pour déterminer le pôle d'un cercle non tracé, qui passe par deux points déterminés de la projection. On place la pointe de longueur variable au centre du canevas, et les deux autres pointes sur les deux pôles considérés. On fait pivoter le compas comme précédemment, de façon à ce que les deux pointes tombent sur un méridien tracé ou interpolé. On

compte ensuite, à partir de l'intersection de ce méridien avec le diamètre sur lequel se trouve son pôle, une distance angulaire de 90° , puis laissant les deux pointes sur le méridien, on appuiera la pointe libérée sur le point qui correspond au 90° mesuré. Soulevant alors le compas sans

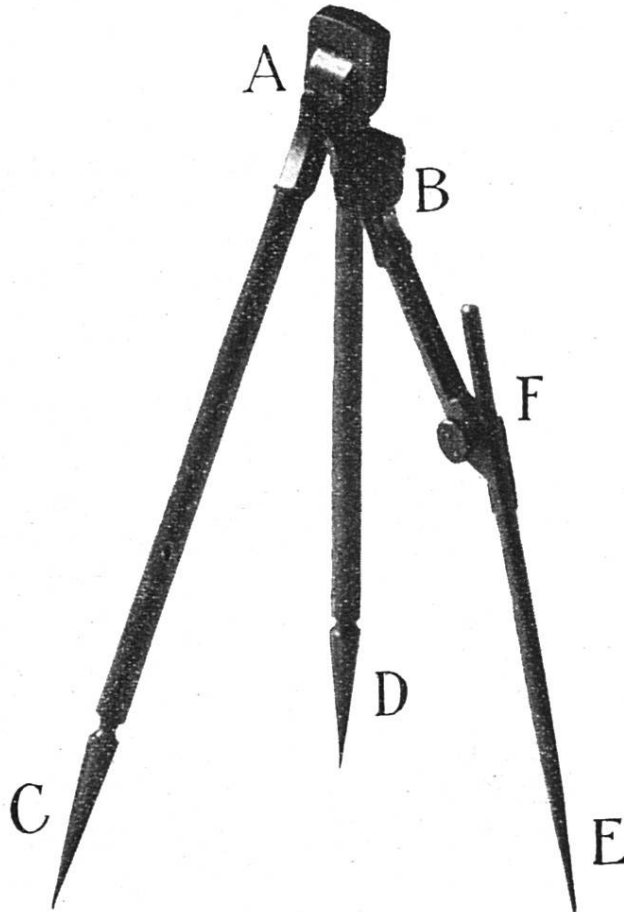


fig. 11. Compas à trois pointes. $\frac{1}{2}$ de la gr. nat.

produire aucun dérangement dans la position respective des trois pointes, on fait coïncider avec les deux pôles les deux pointes qui, au début, coïncidaient déjà avec eux, et à l'endroit de la projection où se trouve maintenant la pointe qui occupait jadis le centre de la projection, nous aurons le pôle du cercle que l'on veut obtenir.

Report à l'aide du canevas de Fédorof.

A. Cas de la platine adaptable.

Le report du premier plan d'élasticité se fait comme suit: On mesurera sur le cercle fondamental et à partir du zéro qu'on place à l'E, l'angle n . On mettra un signe en

regard de la valeur trouvée, et de ce point on tracera un premier diamètre. On tirera alors un second diamètre perpendiculaire à celui-ci, puis on tournera la projection de façon à faire coïncider le repère placé en regard de n avec le Nord. Pour tracer le cercle dont l'inclinaison est donnée par h , il faudra d'abord remarquer de quel côté se trouve le bord relevé de la platine, le cercle devant être tracé toujours du même côté. On place alors la règle stéréographique sur le diamètre E—W, le zéro de la règle coïncidant avec le centre de la projection, et la partie la plus longue de la règle étant placée sur la moitié du diamètre qui se trouve du côté opposé à celui qui sera coupé par le cercle à décrire. On compte alors sur la règle un nombre de degrés égal au complément de l'angle h , et au point correspondant on marque la position du pôle du cercle. Puis on mesure à l'aide de la règle une distance angulaire double de la première; au point correspondant sur le diamètre se trouvera le centre du cercle à tracer, qu'on décrira avec un compas. En regard du pôle trouvé on inscrira le caractère de l'axe, soit n_g , n_m ou n_p . Si l'angle h mesuré est inférieur à 20° , il vaut mieux tracer le cercle au moyen de la règle flexible comme il a été indiqué, et sur le diamètre E—W on portera, au moyen de la règle stéréographique, le complément de l'angle h , pour avoir le pôle du cercle.

Si le plan trouvé est celui des axes optiques, il faut, sur le cercle tracé, reporter le ou les axes optiques, donnés par les valeurs JA^1 et JA^2 mesurées. Pour ceci, à partir de l'intersection du diamètre passant par n_m avec le cercle de base, et du côté où se trouve le cercle décrit, on mesure sur ce cercle de base, en sens inverse de la rotation imprimée, les angles JA^1 ou JA^2 (donc vers le N si la rotation était S, ou vice versa), puis on joindra le point obtenu avec n_m par une droite. L'intersection de cette droite avec le cercle représentant le plan des axes optiques, donnera la position de l'axe optique A^1 ou A^2 .

Le second plan d'élasticité se tracera comme le premier, en faisant toujours coïncider l'index en regard de n avec le Nord. On marquera sur la projection les caractères du pôle du cercle trouvé (n_g , n_m , n_p). Si les mesures et leurs reports sont précis, ce pôle devra tomber sur le premier cercle tracé, à 90° du point d'intersection des deux cercles trouvés; ce sera le pôle du troisième axe de l'ellipsoïde, à côté duquel

on inscrira celui des trois axes n_g , n_m ou n_p , dont le pôle n'a pas encore été obtenu directement. On pourra tracer le troisième plan d'élasticité, s'il a été relevé, comme les précédents, et il devra se trouver à 90° de l'intersection des deux premiers cercles, si l'opération a été bien conduite. Dans le cas contraire, on le tracera directement, à 90° du pôle indiqué. On relèvera exactement, de même que les plans d'élasticité, les plans de clivage, plans de macles etc., et suivant la position qu'occuperont ces plans par rapport à ceux de l'ellipsoïde, on en déduira la symétrie du cristal.

Il s'agit de déterminer maintenant la valeur de l'angle des axes optiques et le signe de la bissectrice. En examinant la position de l'axe A^1 par rapport aux pôles de n_g et de n_p , on pourra de suite mesurer sur la projection, lequel des deux angles A^1-n_g ou A^1-n_p est le plus petit, ce qui donnera le signe de la bissectrice. Pour effectuer cette opération, on tracera la droite passant par n_m et l'axe A^1 , on la prolongera ensuite jusqu'à son intersection avec le cercle de base, puis on tracera de la même façon la droite passant par n_m et n_g , ou par n_m et n_p et l'on mesurera sur le cercle de base l'arc intercepté entre ces deux droites. Si maintenant on a pu relever les deux axes optiques A^1 et A^2 , ceux-ci doivent sensiblement se trouver à la même distance de leur bissectrice, ce qui vérifie également l'exactitude des mesures. Si on n'a pu relever qu'un seul axe optique, on fixera aisément la position du second en reportant sur le cercle de base, et du côté opposé de la droite passant par n_m et n_g ou n_p par rapport à la droite n_m-A^1 , la valeur de l'angle mesuré entre les deux droites n_m-A^1 et n_m-n_g ou n_m-n_p .

Remarque: Nous ne donnerons pas ici le dessin correspondant aux constructions indiquées, renvoyant pour cela aux exemples traités à propos des plagioclases.

B. Cas du microscope théodolite.

Les constructions sont absolument identiques à celles indiquées, il faudra seulement, au début, faire coïncider le zéro du diagramme avec le S, et la trace du diamètre du cercle à décrire avec la direction E—W, le signe en regard de n placé à l'E. Les reports des inclinaisons (bord relevé de la platine) se font alors vers le N ou vers le S et les rotations de JA^1 ou JA^2 en sens inverse de celles relevées.

Report à l'aide du canevas de Wulff.

Le canevas de Wulff se compose d'un cercle de base de 10 cm de rayon (avec lequel on peut donc utiliser les appareils accessoires de Fédorof), qui porte un système de grands cercles méridiens et de petits cercles parallèles, tracés

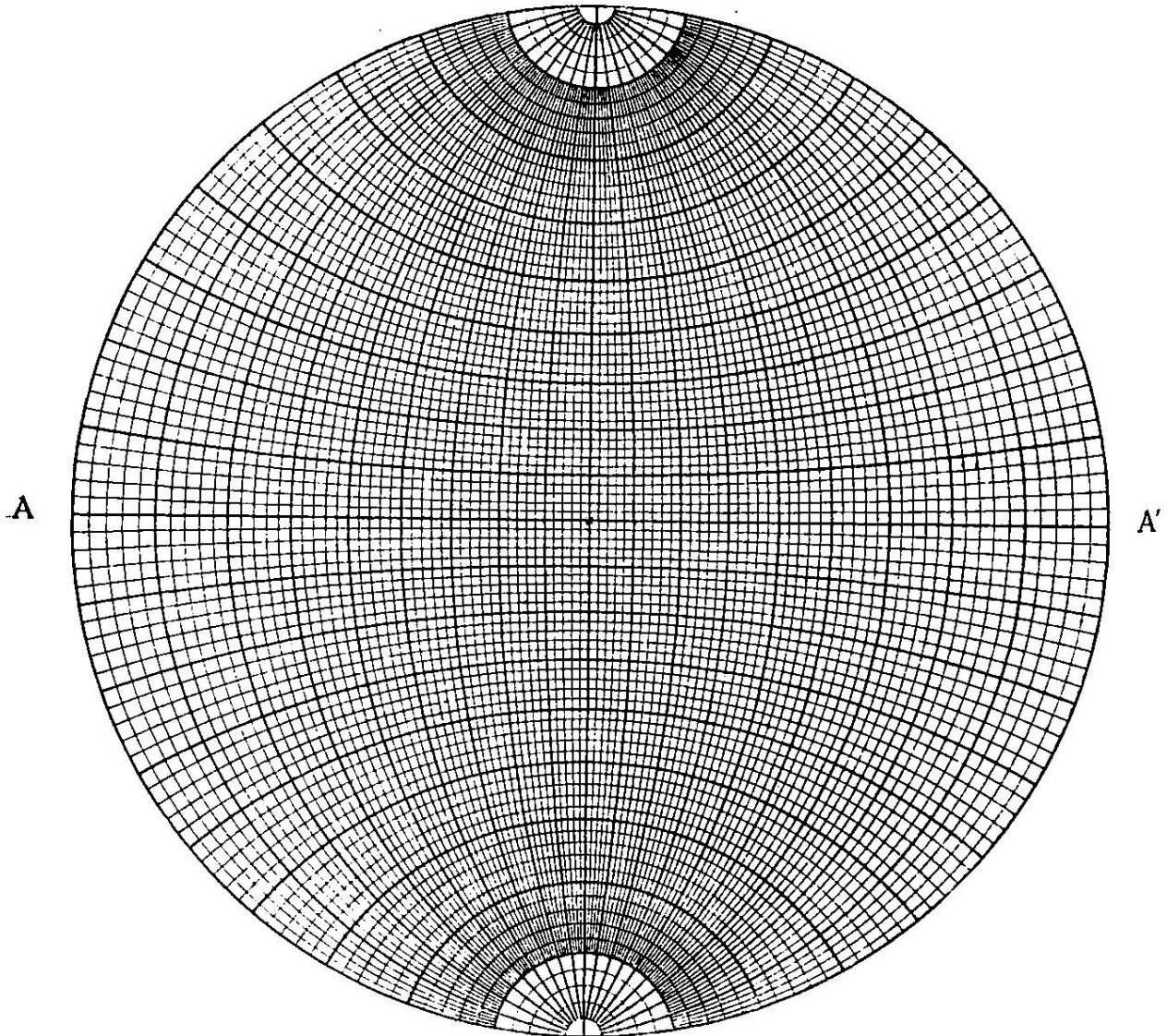


fig. 12. Canevas de Wulff. A—A' = diamètre équatorial.

de 2° en 2° (fig. 12). On pourra inscrire sur le cercle de base les chiffres d'une graduation, en sens inverse du mouvement des aiguilles d'une montre, à partir d'un des pôles du diamètre équatorial choisi comme zéro. On prendra un papier calque, sur lequel on marquera au crayon le centre de la projection et l'extrémité 0° du diamètre choisi comme origine, ce qui permet de remettre toujours le calque en coïncidence avec le diagramme.

A. Cas de la platine adaptable.

On mesurera sur le cercle de base, à partir du zéro qu'on place à l'E, un angle égal à n . On marque un repère en regard, puis faisant tourner le calque, on amène le trait correspondant à n en coïncidence avec l'extrémité N du diamètre N—S du diagramme. On trace alors ce diamètre, et celui qui lui est perpendiculaire, puis sur le diamètre E—W on compte à partir du centre et à l'E ou à l'W, suivant la position du bord relevé du disque, la valeur de l'angle h , et l'on tracera à la main le grand cercle correspondant, en suivant simplement le méridien passant par le point. Puis sur le même diamètre, et du côté de la concavité du cercle, on portera une distance angulaire de 90° à partir de son intersection avec le cercle trouvé, ce qui donnera la position du pôle. On inscrira comme précédemment en regard de celui-ci n_g , n_m ou n_p , suivant le caractère de l'axe trouvé.

Si le plan est celui des axes optiques, et si nous avons pu relever un de ces axes, on comptera, à partir de l'intersection du diamètre passant par n_m avec le cercle et sur celui-ci, un angle JA^1 ou JA^2 en sens inverse de la rotation relevée (donc Sud si la rotation a été vers le Nord et vice versa), puis on marquera l'axe sur le cercle. On opérera exactement de même pour les deux autres plans d'élasticité s'ils ont été relevés; si on n'en a relevé que deux, on tracera le troisième en plaçant l'intersection des deux cercles déjà tracés sur le diamètre équatorial, et en comptant, à partir de l'intersection sur ce diamètre, une distance angulaire de 90° . On trace alors, en suivant le méridien passant par ce point, le cercle correspondant. Pour déterminer le signe de la bissectrice, il suffira de compter directement sur le méridien qui coïncide avec le plan des axes optiques l'angle compris entre cet axe et n_g ou n_p . Pour trouver la position du second axe optique, il faudra reporter sur le même méridien la valeur trouvée à partir d'une des bissectrices, en sens opposé à celui déjà pris pour fixer l'axe déterminé. Les plans de clivage, les plans de macle etc. se reporteront de la même façon.

Dans la pratique, si l'épure obtenue ne doit servir qu'à la détermination, on se borne à tracer les grands cercles à la main, en suivant les méridiens du canevas. Si l'épure doit être reproduite, il faudra appliquer sur le diamètre où se trouve le pôle la règle stéréographique, et opérer comme

dans le cas du canevas de Fédorof pour trouver le centre du cercle à tracer à l'aide du compas.

B. Cas du microscope théodolite.

On se mettra dans les mêmes conditions que celles indiquées à propos du canevas de Fédorof, et on fera la construction comme nous l'avons montré ci-dessus.

Pour terminer la question relative aux reports, nous dirons qu'au point de vue pratique, le canevas de Wulff l'emporte sur les deux autres procédés indiqués. Les manipulations sont très rapides, suffisamment exactes et n'exigent pour les déterminations l'emploi d'aucun instrument spécial.

II° Application de la méthode de Fédorof à la détermination des plagioclases.

Généralités sur les plagioclases.

Les plagioclases sont des mélanges isomorphes en toutes proportions d'albite Ab, et d'anorthite An, auxquels on donne différents noms, suivant les limites entre lesquelles oscillent ces mélanges. On distingue les types suivants :

Albites	0 à 5 %	environ d'An
Oligoclases acides	5 à 15 %	„ „
Oligoclases	15 à 25 %	„ „
Andésines	25 à 45 %	„ „
Labradores	45 à 70 %	„ „
Bytownites	70 à 90 %	„ „
Anorthites	90 à 100 %	„ „

Au point de vue cristallographique ils sont tricliniques et les faces les plus ordinairement rencontrées sont : p (001), g^1 (010), t (110), m ($1\bar{1}0$), a^1 ($1\bar{0}1$), $a^{1/2}$ ($2\bar{0}1$). L'allongement des cristaux se fait ordinairement suivant l'arête pg^1 , qui correspond à l'axe des x, beaucoup plus rarement suivant l'arête h^1g^1 , qui est l'axe des z. Les cristaux sont ordinairement aplatis suivant g^1 (010). Tous les feldspaths possèdent un clivage principal suivant p (001). Il existe fréquemment aussi un clivage g^1 (010), mais beaucoup moins net, puis des cassures, qui se font parallèlement aux faces m ($1\bar{1}0$), t (110) ou h^1 (100) et qui se traduisent sur les préparations par de fines lignes interrompues, déterminant par leur intersection avec le clivage p (001) la position de l'angle obtus ph^1 .

Les macles jouent un rôle tout à fait important dans la

détermination des plagioclases. On rencontre chez ces derniers, en effet, des hémitropies normales, des hémitropies parallèles, et des associations de ces deux hémitropies, désignées par Fédorof sous le nom de « complexes ».

Dans les hémitropies normales, le plan de macle est ordinairement une face d'indice très simple, comme les trois pinacoïdes, avec prédominance marquée de g^1 (010) et de p (001); puis le dôme $i^{1/2}$ (021). L'axe de rotation est normal au plan de macle, et le second individu maculé avec le premier tourne de 180° autour de cet axe. La macle est simple ou ordinairement répétée, et donne naissance à une série de lamelles en position initiale 1, et en position retournée 1'. Dans les hémitropies normales, jusqu'à ce jour, on n'a jamais constaté une variation dans la position du plan de macle, qui devient un plan de symétrie.

Dans les hémitropies parallèles, les plans d'association sont les mêmes, mais les rotations se font autour d'une droite, dite axe de macle, qui est contenue dans le plan. Ces axes de rotation seront nécessairement des arêtes d'intersection de deux faces contiguës, ainsi par exemple g^1 (010) étant plan de macle, les rotations pourront se faire ou bien autour de l'arête $pg^1 = (001) (010) = [100]$, ou suivant l'arête $h^1g^1 = (100) (010) = [001]$. Il en résulte que, tandis que pour les hémitropies normales il n'y a qu'un seul cas possible d'hémitropie sur un plan de macle, il y en a deux possibles sur le même plan pour les hémitropies parallèles. De plus, la position du plan de macle n'est pas absolument invariable; en principe, elle reste bien celle du plan d'hémitropie normale, mais très souvent la position de la face d'association varie dans une zone, qui comprend en tout cas la face d'hémitropie normale. Tel est le cas de la macle de la péricline, qui est une hémitropie parallèle, avec plan de jonction qui en principe est p (001) et rotation de 180° autour de l'arête $ph^1 = (001) (100) = [010]$. Pour les divers plagioclases, la position successive du plan de macle varie dans la zone ph^1 entre $+ 13^\circ$ pour l'albite et $- 18^\circ$ (données de Becke) pour l'anorthite, par rapport à la face p .

Dans l'hémitropie parallèle, la rotation ne crée pas de plan de symétrie, mais bien un axe de symétrie, qui est l'axe de macle. Si 1 représente la lamelle dans la position initiale, 2 sera celle après le retournement.

Fédorof a donné le nom de « complexe » au groupement d'une hémitropie normale avec une hémitropie parallèle ayant le même plan de jonction. Nous aurons donc, dans ces conditions, si les lamelles maclées sont au complet, les individus 1 et 1' ainsi que 2 et 2', maclés selon une hémitropie normale, et 1—2 et 1'—2', maclés selon une hémitropie parallèle. Les deux lamelles qui représentent en réalité le complexe, seront les lamelles 1 et 2', ainsi que 1' et 2. Les complexes pourront toutefois et souvent se rencontrer sous forme d'un groupement de deux individus seulement, correspondant aux lamelles 1 et 2' ou 1' et 2, ou d'une série d'individus, ayant la même orientation. En réalité, ces complexes peuvent être considérés comme appartenant à un cas particulier des hémitropies parallèles, dans lesquelles l'axe de macle est toujours contenu dans le plan d'hémitropie, mais est perpendiculaire à l'axe d'hémitropie parallèle, contenu lui-même dans ce plan. Il en résulte que, de même qu'à chaque plan de macle par hémitropie normale, correspondent deux macles par hémitropie parallèle, de même, à chaque plan de macle correspondent deux complexes, dont les axes, contenus dans le plan d'hémitropie, seront respectivement perpendiculaires aux deux axes d'hémitropie parallèles contenus dans ce plan.

Nous recommandons beaucoup, si l'on veut se rendre un compte exact de ces divers types de macles, d'utiliser des modèles en bois figurant simplement la combinaison des trois pinacoïdes, et aplatis suivant g^1 (010).

Fédorof et Nikitin ont proposé les notations suivantes pour exprimer les différents cas d'hémitropies possibles.

Les hémitropies normales sont désignées simplement par la notation de la face qui fonctionne comme plan de macle. Ainsi l'hémitropie normale avec plan de macle g^1 (010) sera désignée par (010).

Les hémitropies parallèles sont notées par le symbole de l'axe de l'hémitropie placé entre crochets, notation qui est celle adoptée pour une arête ou un axe de zone. Ainsi l'axe d'hémitropie parallèle suivant l'arête pg^1 (001) (010), sera noté [100], ce qui est la notation de l'axe de zone pg^1 , c'est à dire de l'arête parallèle à l'axe des x. Il faut d'ailleurs indiquer chaque fois quelle est la face d'association, puisqu'il y a toujours, pour une même arête, deux faces d'association possibles. On pourrait alors noter

d'une façon précise une hémitropie parallèle comme suit:
 $\frac{[001]}{(010)}$, ce qui voudrait dire hémitropie parallèle, avec axe de rotation $h^1g^1 = (100) (010)$, et face d'association $g^1 (010)$ ce qui correspond à la macle de Karlsbad.

Quant au complexes, la notation indiquera à quel axe d'hémitropie parallèle l'axe de rotation est perpendiculaire, ainsi que le plan de macle dans lequel cet axe est compris. Ainsi le complexe albite-Karlsbad s'écrira: $\frac{\perp [001]}{(010)}$, ce qui voudra dire: axe de rotation perpendiculaire à l'axe d'hémitropie parallèle $h^1g^1 = (100) (010) = [001]$, dans le plan $g^1 (010)$ qui est plan de macle.

Nous donnons ci-dessous un tableau des différentes macles des plagioclases.

A. Hémitropies normales.

Nom de la macle	Plan de macle	Remarque
albite	$(010) = g^1$	macle ordinairement polysynthétique
Manébach	$(001) = p$	ordinairement réduite à deux individus
Baveno	$(021) = i^{1/2}$	ordinairement réduite à deux individus
X	$(100) = h^1$	prévue, mais pas rencontrée à ce jour

B. Hémitropies parallèles.

Nom de la macle	Axe d'hémitropie	Plan d'association	Remarque
Karlsbad A	$[001] = h^1g^1$	$(010) = g^1$	ordinairement 2 individus : le plan de jonction peut être une face de la zone h^1g^1 voisine de g^1 ou de h^1
Karlsbad B	$[001] = h^1g^1$	$(100) = h^1$	
Ala A	$[100] = p^1g^1$	$(001) = p$	ordinairement 2 individus, associés souvent à la macle de Manébach
Ala B	$[100] = p^1g^1$	$(010) = g^1$	id. à la macle d'albite
acline A	$[010] = ph^1$	$(001) = p$	associée à la macle de Manébach
acline B	$[010] = ph^1$	$(100) = h^1$	probablement non observée
péricline	$[010] = ph^1$	zone $ph^1 = (001) (100)$	associée souvent avec l'albite, mais aussi fréquemment seule

C. Complexes.¹⁾

Nom de la macle	Axe d'hémitropie	Plan d'association	Remarques
albite-Karlsbad A	$\perp[001] = \perp h^1 g^1$	$(010) = g^1$	très répandue. Souvent formée par 2 groupes 1 et 1' et 2 et 2' de lamelles polysynthétiques, l'un des groupes pouvant être réduit à une seule lamelle
Manébach-Ala A	$\perp[100] = \perp p g^1$	$(001) = p$	moins répandue
albite-Ala B	$\perp[100] = \perp p g^1$	$(010) = g^1$	id.
Manébach-acline A = Scopi	$\perp[010] = \perp p h^1$	$(001) = p$	assez fréquente dans les plagioclases voisins du labrador

Propriétés optiques des plagioclases.

L'ellipsoïde des indices n_g , n_m , n_p de l'albite a, dans l'espace, une certaine orientation par rapport aux éléments

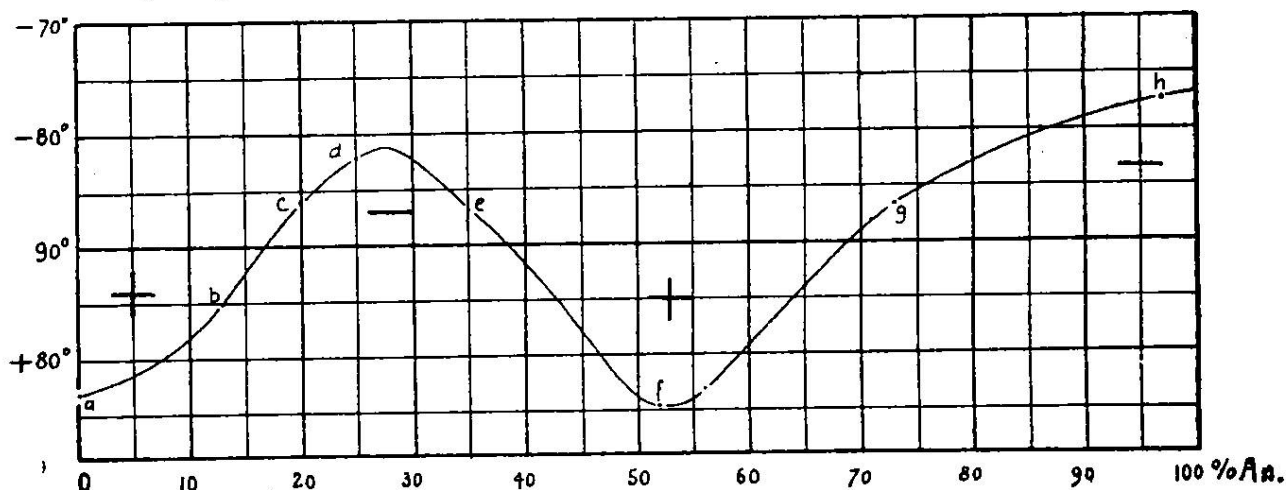


fig. 13. Variation de $2V$ et du signe de la bissectrice pour la série des plagioclases.

cristallographiques. L'ellipsoïde de l'anorthite a une autre orientation par rapport aux mêmes éléments. Supposons que les pôles de ces ellipsoïdes soient fixés par des coordonnées sphériques φ et λ . On pourra toujours les représenter à l'aide de ces coordonnées sur la sphère, en projection stéréographique. Si on opère de même pour les divers

¹⁾ Il est bien évident que nous pouvons avoir toutes les associations de macles possibles, qu'il ne faut pas confondre avec les complexes. Ainsi par exemple, nous pouvons avoir des associations telles que: Karlsbad-Baveno, albite-péricline, albite-Manébach etc.

plagioclases de la série, nous aurons pour chacun une position nouvelle des trois axes de l'ellipsoïde et une migration continue des pôles n_g , n_m , n_p . On pourra donc réunir sur la

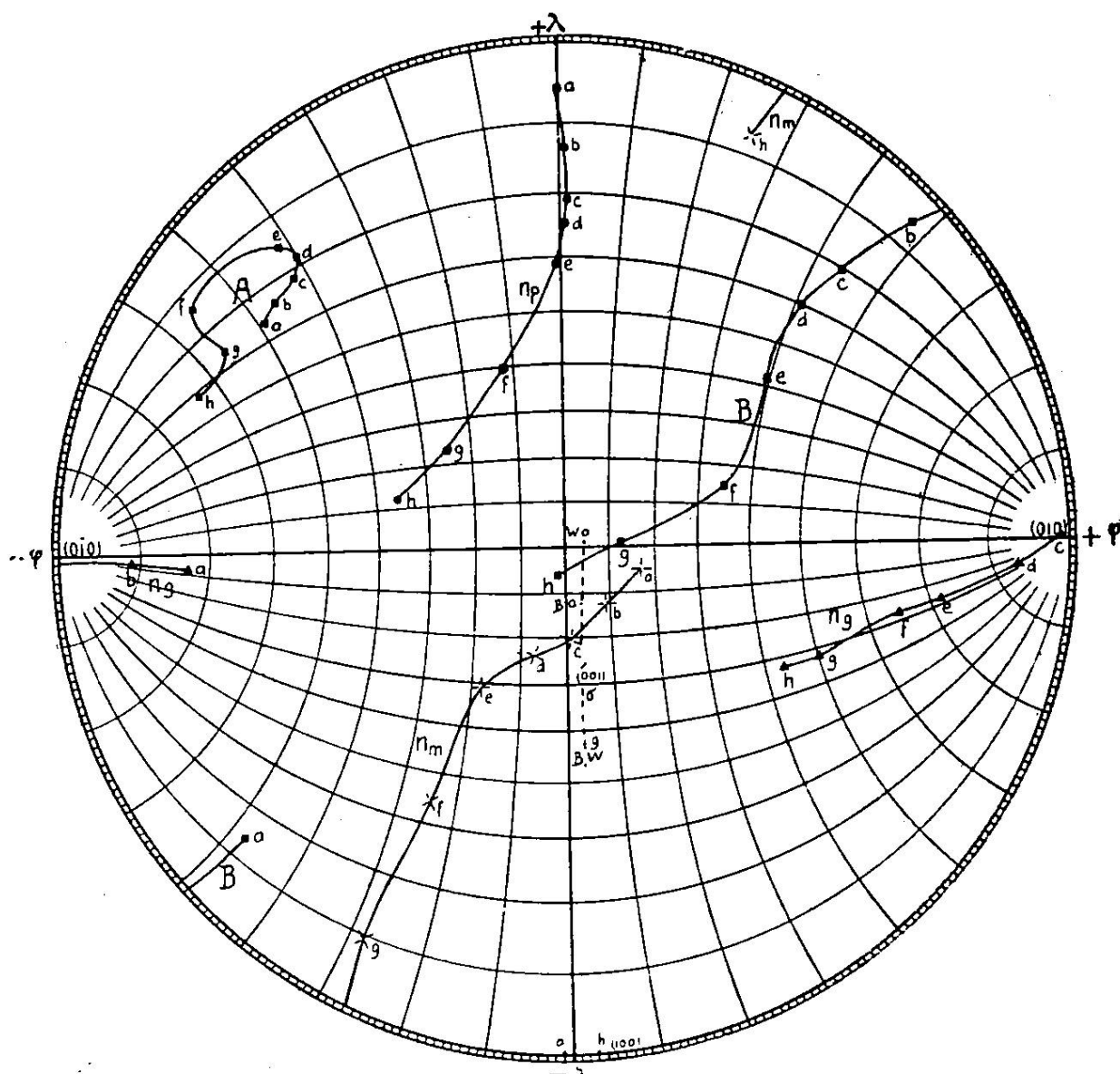


fig. 14. Projection stéréographique, montrant la migration de n_g , n_m et n_p et des axes optiques A et B , de la face (100) et du plan d'association σ de la macle de la péricline (W d'après les données de Wülfing, B d'après celles de Becke), la face (010) étant fixe.
 $\Delta = n_g$, $+$ = n_m , $\bullet = n_p$. Ces signes conventionnels ont la même signification dans toutes les figures.

projection stéréographique ces différentes positions successives de n_g , n_m , n_p par des courbes, qui donnent la variation des positions de ces axes pour toute la série isomorphe. Il en serait de même pour les axes optiques A et B . L'albite

est de signe positif, l'anorthite de signe négatif. Entre ces deux termes extrêmes, les plagioclases présentent trois changements de signe, comme on peut le constater fig. 13. La position des axes optiques est aussi donnée par les coordonnées sphériques φ et λ , et leur migration peut être également tracée sur la projection. Les différentes migrations des éléments optiques des plagioclases sont représentées par la fig. 14, qui a été construite au moyen des données fournies par Becke. Le plan de projection est la section droite du prisme, le pôle de la face g^1 se trouvant sur le cercle de base, à l'intersection du diamètre horizontal. Le tableau des coordonnées des éléments optiques et cristallographiques des plagioclases qui contient les données ayant servi à nos constructions, se trouve à la fin de cette note (page 69).

Le mode de représentation de la migration des éléments optiques par rapport aux éléments cristallographiques supposés fixes, ne se prête pas commodément à la détermination des plagioclases par la méthode théodolite. En effet, ce que l'on détermine chez les feldspaths, c'est les coordonnées des éléments cristallographiques, tels que plans de macle, axes de macle, plans de clivage, etc., par rapport aux axes n_g , n_m , n_p de l'ellipsoïde. Il faudra donc avoir une projection sur laquelle la position de ces axes n_g , n_m , n_p soit invariable et coïncide pour tous les plagioclases. On les placera respectivement: n_g sur le cercle fondamental, suivant le diamètre E—W, n_p suivant le diamètre N—S, et n_m au centre de la projection. Nous avons transformé graphiquement, à l'aide de l'hémisphère de Nikitin, la projection représentée fig. 14 dans le système utilisé pour la méthode de Fédorof (planche I). Cette transformation équivaut en somme à faire effectuer à chaque élément cristallographique une double rotation autour du diamètre E—W et N—S de la projection, d'angles égaux à ceux qui, pour les mêmes rotations, amènent n_g , n_m , et n_p en coïncidence avec les deux extrémités des deux diamètres E—W et N—S et le centre de l'épure. Cette planche donne donc les courbes des positions successives des faces qui jouent le rôle de plans de macle, ou aussi de plans de clivage pour les divers feldspaths, notées entre parenthèse (), puis les courbes de migration des axes d'hémitropie parallèle, notées entre crochets [], dont les pôles sont construits par les intersections des deux grands cercles qui représentent

les plans, dont cet axe est l'arête d'intersection; enfin la planche donne aussi les courbes décrites par les pôles des complexes, notées $\perp []$ qu'on construira en cherchant sur le grand cercle qui représente le plan de macle, le point qui se trouve à 90° du pôle de l'axe d'hémitropie parallèle, puisque ces deux axes sont contenus dans ce plan, et perpendiculaire l'un à l'autre.

Nous remarquerons que la projection stéréographique a le désavantage de produire une déformation de ces courbes. Le résultat en est que la même distance angulaire entre deux points se trouve allongée ou diminuée, selon que ces deux points sont près de la périphérie ou au voisinage du centre de projection. Il s'ensuit que l'interpolation entre deux points voisins manque de précision. Il en serait tout autrement si l'on substituait à la projection stéréographique une projection angulaire, qui ne produit pas une pareille déformation, et qui permet une interpolation plus aisée. Nous donnerons cette projection dans un ouvrage ultérieur.

Principes généraux de la détermination d'un plagioclase.

Le plagioclase est supposé maclé suivant un système déterminé, ce que l'on verra par les différentes intensités lumineuses des divers individus 1 et 2 en présence. On fera toujours un croquis fidèle de la section, en numérotant d'un même chiffre les lamelles qui ont la même orientation, c'est à dire qui sont également éclairées dans une position déterminée, la section étant placée entre les nicols croisés. Le problème que l'on se propose de résoudre est la détermination des coordonnées du plan de macle, de l'axe de macle, et des plans de clivage, par rapport aux axes n_g, n_m, n_p . Pour ceci, nous devons, pour chaque individu maclé, déterminer les positions de n_g, n_m et n_p au moyen des angles n et h relevés par la platine théodolite, et préciser également la position des axes optiques A^1 et A^2 , ce qui donne la valeur de $2V$ et le signe pour chacun des individus maclés. Puis on tracera le plan de macle et son pôle, toujours d'après les données relevées, et s'il y a lieu les plans de clivage. Ayant donc reporté toutes ces données sur la projection, nous chercherons ensuite la position de l'axe de macle entre 1 et 2. Pour ceci, nous ferons passer trois grands cercles par les pôles $n_g^1—n_g^2, n_m^1—n_m^2$ et $n_p^1—n_p^2$. Ces trois cercles doivent se couper en un point M , qui sera le pôle de l'axe

de macle cherché. On verra immédiatement si ce pôle coïncide avec celui du plan de macle P déjà marqué, auquel cas l'hémitropie est normale, ou s'il tombe sur le grand cercle qui représente le plan de macle lui-même, auquel cas l'hémitropie est parallèle ou représente un complexe. Nous déterminerons alors les coordonnées de cet axe, en mesurant les arcs $n_g^1 - n_g^2$, $n_m^1 - n_m^2$, $n_p^1 - n_p^2$ et en divisant l'angle par 2, si le pôle de l'axe de macle tombe sur le cercle à l'intérieur des arcs mesurés; on prendra le complément de ce demi-angle, si le pôle de l'axe de macle tombe en dehors de l'arc mesuré. Nous évaluerons de même les arcs compris entre n_g , n_m et n_p et le pôle du plan de macle P , qui se confond donc avec celui de l'axe M si l'hémitropie est normale. Cette mesure s'effectuera avec les pôles de n_g , n_m , n_p , des deux individus 1 et 2, et on prendra la moyenne des angles obtenus; puis on mesurera également les arcs correspondants entre le pôle du plan de clivage π et n_g , n_m et n_p . Si l'angle d'un de ces arcs est supérieur à 90° , on prendra son supplément. On inscrira alors les résultats de la façon suivante, si par exemple il s'agit d'une hémitropie parallèle, où le pôle M de l'axe de macle est distinct de celui du plan de macle P :

	n_g	n_m	n_p
Pôle de l'axe de macle M	51°	56°	58°
« du plan de macle P	39°	62°	63°
« du clivage π	44°	63°	58°
$2 V^1 =$	-78°		
$2 V^2 =$	-80°		

En résumé, on obtiendra donc des points déterminés dans l'espace par leurs trois coordonnées par rapport aux axes n_g , n_m et n_p . On les reportera sur un papier calque, en se servant du canevas de Wulff, et en marquant sur ce calque le centre et les diamètres du canevas qui correspondent aux axes n_g , n_m et n_p . On superposera le calque sur la planche 1, en examinant sur quelle courbe tombent les points obtenus. Le pôle P du plan de macle doit évidemment tomber sur une des courbes représentant la migration du pôle d'une face, dont le type se trouvera ainsi immédiatement précisé. Le pôle M d'une hémitropie parallèle devra tomber sur une des courbes représentant la migration des axes de ces hémitropies, et enfin le pôle d'un complexe devra tomber sur une courbe qui figure la migration des axes des complexes. Le type de l'hémitropie parallèle ou du complexe se trouvera

donc immédiatement précisé. Il convient de faire remarquer que le calque peut être superposé à la planche suivant quatre positions distinctes. Il faudra évidemment examiner ces quatre positions, et s'arrêter à celle pour laquelle la coïncidence des points avec les courbes tracées est la plus satisfaisante. Chaque point, par la position qu'il occupe sur la courbe, détermine la nature du plagioclase, soit son pourcentage en An, par une simple interpolation faite au moyen des deux types de plagioclases, entre lesquels tombe le point considéré. Il est à remarquer ici que le même individu pourra être déterminé par trois données distinctes; dans le cas particulier, par l'axe de macle M , par le plan de macle P et par le plan de clivage π . Les pourcentages d'An fournis par ces trois observations distinctes, doivent rester sensiblement voisins.

Dans la pratique, les cercles passant par $n_g^1—n_g^2$, $n_m^1—n_m^2$, $n_p^1—n_p^2$ se coupent rarement en un seul point, mais ordinairement suivant un petit triangle sphérique que l'on centre ensuite. De même, lorsque le pôle M de l'axe trouvé coïncide avec celui du plan de macle P , la coïncidence n'est jamais parfaite, mais approchée. D'autre part, les courbes qui figurent les migrations des divers éléments indiqués planche 1 sont souvent très voisines. Il en résulte que, vu le degré de précision de la méthode, le point figuratif ne tombera pas mathématiquement sur une seule et même courbe, mais souvent entre deux courbes d'espèce différente, de sorte qu'on ne sait laquelle il faut choisir. Une élimination définitive peut être faite, quand on connaît le type de la macle. Si par exemple, celle-ci est une hémitropie normale, et que le pôle tombe entre une courbe d'une hémitropie normale et d'une autre parallèle, la seconde devra être éliminée. D'autre part, si le pôle tombe à proximité immédiate de deux courbes qui seront, par exemple, celle d'un complexe et celle d'une hémitropie parallèle, le doute sera levé en prenant la courbe qui fournit pour le pourcentage en An correspondant au point, un chiffre analogue à celui obtenu avec les autres données (pôle du plan de macle, pôle du clivage).

Si maintenant la section examinée comportait plus d'une macle, on noterait tout d'abord les divers individus en présence, par exemple 1, 2, 3, 4 etc., puis on procéderait exactement pour chaque individu comme il a été dit à propos de la

macle simple. Ceci fait, on chercherait les divers axes de macle possibles, en faisant passer successivement des cercles par les n_g , n_m et n_p de ces divers individus, groupés deux à deux, par exemple 1—2, 2—3, 1—3 etc., et on procéderait absolument comme il a été indiqué. On déterminerait de la sorte aisément les différentes lois des macles qui coexistent et chaque macle, par les données qu'elle nous fournit, permettra de déterminer le pourcentage en An du plagioclase étudié. Les pourcentages déduits des différents données devront être sensiblement voisins. Est-ce à dire que chez les individus maclés la composition chimique doit toujours être identique? Tel n'est pas le cas, car les variations des valeurs de l'angle $2V$ montrent que souvent les individus maclés ont une composition sans doute voisine, mais cependant différente.

Exemples pratiques.

Nous donnerons comme exemple: une hémitropie normale soit une macle de l'albite, et une hémitropie parallèle, soit une macle de la péricline, pour lesquelles nous ferons les mesures ainsi que les reports exactement suivant les conventions données. Toutefois, pour ne pas allonger, nous ferons ces reports, dans le cas de la macle de l'albite, avec l'hémisphère de Nikitin et avec le canevas de Fédorof, dans celui de la macle de la péricline, avec le canevas de Wulff. Après avoir traité ces exemples simples, nous donnerons des exemples plus compliqués, que nous ferons précéder de l'exposé d'un ensemble de perfectionnements et de simplifications qui portent, soit sur les mesures, soit sur les reports, et que nous emploierons pour les exemples plus compliqués. Pour ces derniers, nous ferons les reports exclusivement avec le canevas de Wulff.

1^{er} Exemple. Macle de l'albite, par la platine théodolite.

La section étudiée, représentée par la fig. 15, provient d'une coupe de diorite mélanocrate à pyroxène des environs de Bolivar (Guyane vénézuélienne) coupe No. 3. V b. Cette section est légèrement zonée, ce qui enlève de la précision aux mesures. On a pu, pour chaque individu, relever les trois plans d'élasticité, bien que le troisième soit très fortement incliné et incertain. Pour donner un exemple aussi

complet que possible, nous avons reporté ce troisième plan, et ne l'avons pas construit à 90° des deux premiers, ce qui aurait été préférable pour l'exactitude. Il en résulte que les pôles de l'ellipsoïde n_g , n_m et n_p ne tombent pas exactement sur les plans d'élasticité, mais en sont distant de quelques degrés. Les données fournies par l'expérience sont:

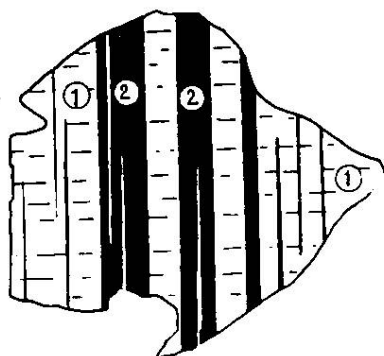


fig. 15. Plagioclase maclé selon l'albite (1er exemple).

Individu 1.

$$\begin{array}{ll} n^1 = 140^\circ & h^1 = 42^\circ \text{ W}; J = n_p \\ n^2 = 71^\circ & h^2 = 25^\circ \text{ E}; J = n_g \\ n^3 = 6^\circ & h^3 = 44^\circ \text{ W}; J = n_m \\ JA^1 = 10^\circ \text{ N} \end{array}$$

Individu 2.

$$\begin{array}{ll} n^1 = 178^\circ & h^1 = 6^\circ \text{ W}; J = n_g \\ n^2 = 267^\circ & h^2 = 30^\circ \text{ E}; J = n_p \\ n^3 = 278^\circ & h^3 = 60^\circ(?) \text{ W}; J = n_m \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} \text{Plan de macle entre 1 et 2: } n = 34^\circ, h = 14^\circ \text{ E} \\ \text{« « clivage dans 1: } n = 303^\circ, h = 13^\circ \text{ W} \end{array}$$

Report avec l'hémisphère de Nikitin.

Individu 1.

Premier plan d'élasticité. On place la sphère avec le 0° de R^1 à l'E, puis on fait passer R^3 par les zéros de R^1 et de R^2 . On fait tourner ensuite tout le système des cercles mobiles de 140° , en sens inverse du mouvement des aiguilles d'une montre, le côté gradué de R^3 se trouvant en face de ce chiffre. On marque un signe X^1 sur la sphère, en regard de 140° , puis on fait tourner tout l'appareil en déplaçant la planche qui le supporte, de façon à mettre le cercle R^3 dans la direction N—S, le signe X^1 en face du N. On incline alors R^3 vers l'W de 42° degrés, et trace le cercle

en suivant le côté gradué de l'anneau. On compte ensuite, à partir du cercle tracé, sur R^2 , un angle de 90° et on inscrit en face du point obtenu le pôle n_p^1 .

Deuxième plan d'élasticité: On remettra R^3 au 0° et fera tourner le système des cercles mobiles pour placer le côté gradué de R^3 en face de 71° . On met de nouveau R^3 dans la direction N—S et le nouvel index X^2 au N, puis on incline R^3 de 25° à l'E, en traçant le cercle toujours du côté gradué de R^3 . A 90° du cercle tracé, en suivant R^2 , on place le pôle de n_g^1 , qui se trouve tout près du cercle précédemment tracé, sur lequel il devrait en réalité tomber.

Troisième plan d'élasticité: R^3 est remis au 0° , puis on fait tourner le système des cercles, de façon à mettre le côté gradué de R^3 en face de la division 6° du cercle R^1 . R^3 est de nouveau placé N—S, avec le signe X^3 au N, et l'on incline R^3 à l'W de 44° , en traçant le cercle du côté gradué de l'anneau R^3 . A 90° du cercle tracé, comptés sur R^2 , on marque le pôle de n_m^1 .

Report des axes optiques: R^3 est mis en coïncidence avec celui des cercles tracés qui est le plan des axes optiques, R^2 passant par n_m et dirigé E—W. On mesure alors à partir du 0° de R^3 un angle de 10° au S, et on marque en face du point obtenu l'axe optique A^1 . Le second axe A^2 n'est pas visible, mais on pourra le construire. L'angle de $A^1-n_p^1$, compté sur le cercle R^3 , étant de 46° environ, il suffira de reporter le même angle sur le cercle de l'autre côté de n_p . On aura donc $2V = 92^\circ$ autour de n_p .

Individu 2.

Premier plan d'élasticité: Tous les cercles étant préalablement aux 0° , on met R^3 en regard du chiffre 178° de la graduation R^1 , et après avoir placé le signe X^4 au N, on incline R^3 de 6° vers l'W. A 90° du cercle tracé, on marque le pôle de n_g^2 .

Deuxième plan d'élasticité: Tout étant remis aux 0° , on place R^3 en regard de 267° , puis X^5 étant mis au N, on incline R^3 de 30° à l'E, et à 90° du cercle tracé on marque le pôle de n_p^2 .

Troisième plan d'élasticité: Partant de la position initiale, on place R^3 en face de la position 278° , met

X^6 en regard du N, et incline R^3 de 60° à l'W. A 90° du cercle tracé on marque le pôle de n_m^2 . L'inclinaison de ce plan étant très forte, les axes optiques n'ont pu être relevés avec certitude.

Plan de macle P : On met R^3 en regard de la division 34° du cercle R^1 , puis le signe X^7 étant placé au N, on incline R^3 de 14° à l'E. A 90° du cercle tracé se trouve le pôle P du plan de macle.

Plan de clivage π : On mettra R^3 en face de 303° , X^8 au N, et on inclinera R^3 de 13° à l'W. A 90° du cercle tracé se trouvera le pôle π du plan de clivage.

Recherche de l'axe de macle M . On trace les cercles $n_g^1—n_g^2$, $n_m^1—n_m^2$ et $n_p^1—n_p^2$, en faisant coïncider l'anneau R^3 avec ces pôles deux à deux. Ces trois plans se coupent en formant un triangle, que l'on centre. Le point centré M tombe à environ 2° à 3° du pôle du plan de macle P . On a donc une hémitropie normale. Mesurons respectivement les angles compris entre les pôles $n_g^1—n_g^2$ etc.

Nous aurons, pour les coordonnées du pôle M :

$$n_g^1—n_g^2 = 73^\circ, \text{ pôle } M \text{ à l'intérieur de l'arc; } n_g—M = 36^\circ \frac{1}{2}$$

$$n_m^1—n_m^2 = 51^\circ, \text{ pôle } M \text{ à l'extérieur de l'arc; } n_m—M = 90^\circ - \frac{51}{2} = 64^\circ \frac{1}{2}$$

$$n_p^1—n_p^2 = 44^\circ, \text{ pôle } M \text{ à l'extérieur de l'arc; } n_p—M = 90^\circ - \frac{44}{2} = 68^\circ$$

Les coordonnées du pôle de clivage π qui se trouve sur l'individu 1, seront également évaluées par le cercle R^3 , en mesurant les arcs compris entre π et n_g^1 , n_m^1 et n_p^1 . Nous aurons:

$$\begin{aligned} \pi—n_g^1 &= 50^\circ \\ \pi—n_m^1 &= 62^\circ \\ \pi—n_p^1 &= 123^\circ = 180^\circ - 123^\circ = 57^\circ \end{aligned}$$

Report des coordonnées de l'axe de macle M . Pour reporter les coordonnées trouvées on opérera suivant le schéma représenté par la fig. 16. On superposera un papier calque sur un canevas de Fédorof ou de Wulff, puis, au moyen des petits cercles de ce canevas, on tracera dans le quadrant I des cercles d'ouverture $n_g—M$, $n_m—M$, $n_p—M$. A l'intersection de ces trois cercles, qui forment un petit triangle qu'on centrera, se trouve donc le pôle de l'axe de macle M , qui dans le cas particulier, coïncide presque avec celui de P .

Report des coordonnées du clivage π . On mesurera de même par les trois petits cercles correspondants et dans le même quadrant I, les arcs compris entre $\pi - n_g^1$, $\pi - n_m^1$ et $\pi - n_p^1$, et centrera également le petit triangle obtenu; nous aurons ainsi la position du pôle π .

Par suite de la construction même, puisque nous avons toujours reporté les arcs mesurés dans le même quadrant, les points d'intersection M et π devront également tomber

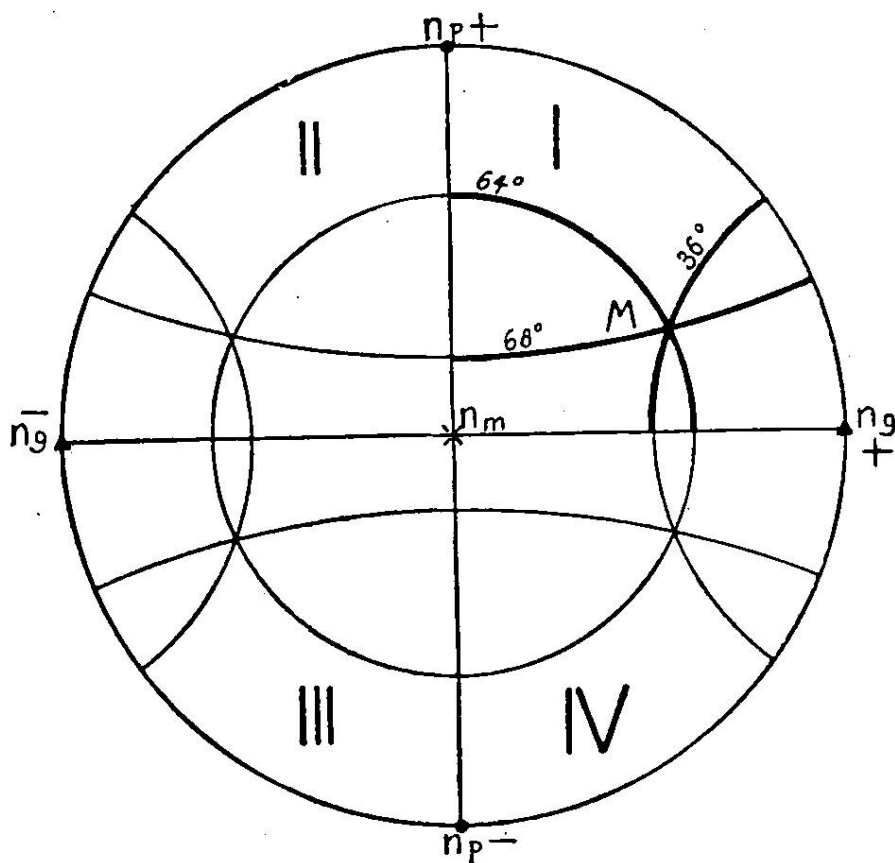


fig. 16. Schéma donnant la disposition des quadrants pour les reports.

dans le même quadrant. On pourrait donc, pour plus de commodité, rapporter toutes les courbes donnant la migration des pôles des faces ou des axes de macle dans un seul et même quadrant, celui I. C'est ce qu'a fait Nikitin, dont nous reproduisons l'épure, fig. 17, construite avec des données différentes de celles dont nous nous sommes servis pour la planche I. Toutefois, les courbes sont trop resserrées, de sorte qu'il est préférable de les développer, comme l'a fait Nikitin également, sur toute la surface de l'hémisphère. Dans ces conditions, les pôles qui tombent par construction dans

le même quadrant, pourront en réalité s'échelonner dans les quadrants I, II, III et IV. Il faudra donc superposer le calque sur la planche I, et lui faire exécuter successivement trois rotations sur lui-même, autour des diamètres N—S et E—W,

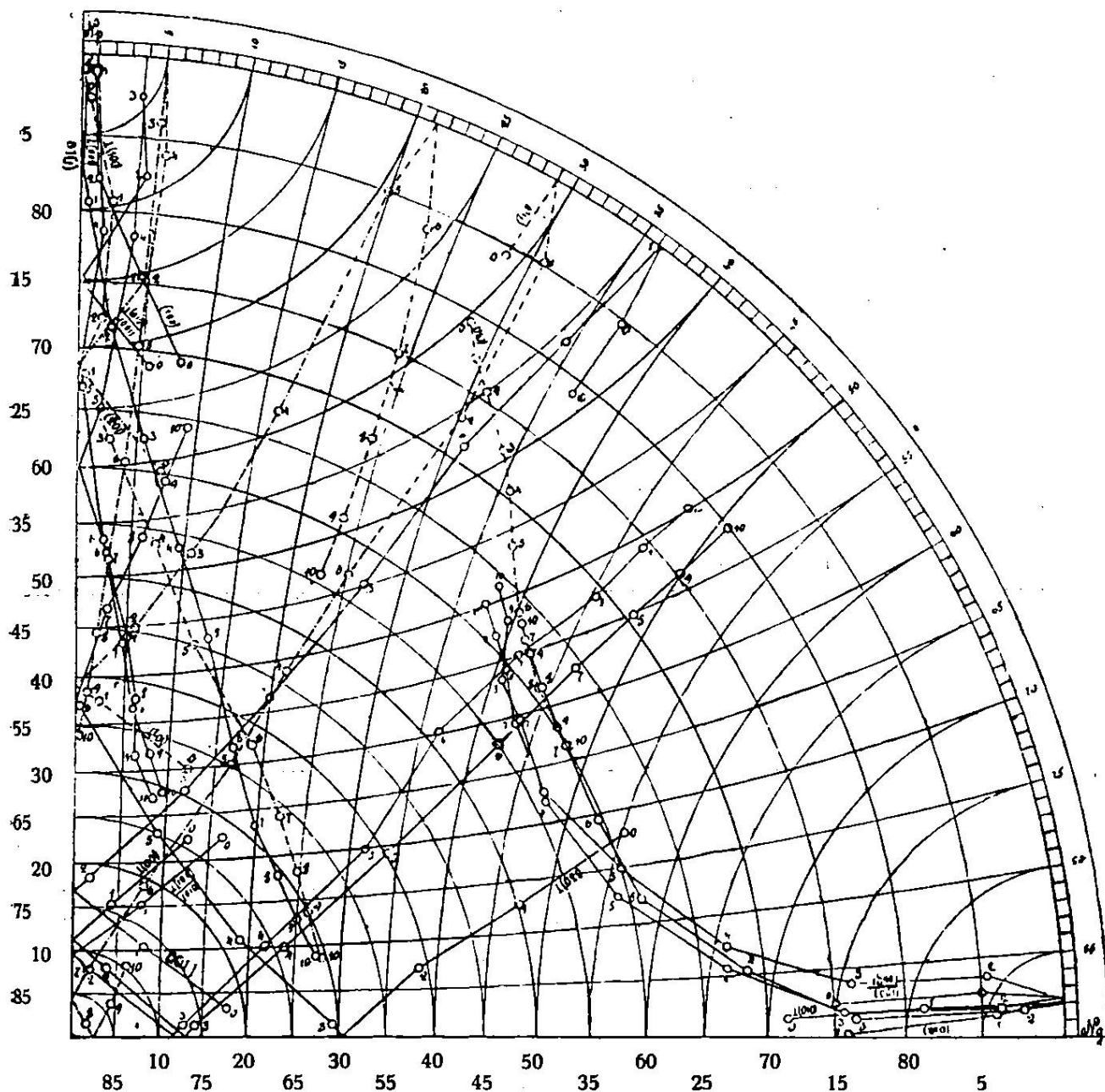


fig. 17. Epure de Nikitin, donnant la migration des pôles des plans et des axes de macle, rapportée aux axes de l'ellipsoïde optique.

de façon à ce que les points obtenus occupent successivement les quatre quadrants, et examiner pour quelles positions ces points tombent sur une courbe déterminée, compatible avec le caractère de l'hémitropie trouvée. Dans le cas particulier,

le point P ne se centre sur aucune des courbes dans les quadrants I, III, et IV. Par contre, dans le quadrant II, il tombe exactement sur la courbe de l'hémitropie normale (010), qui est celle de la macle de l'albite, entre les points 6 et 7, qui correspondent respectivement à 60 et 70 % d'An. Le feldspath en question sera donc à 68 % environ d'An. Quant au pôle π du clivage, il ne peut tomber que sur une courbe indiquant la migration des pôles d'une face de clivage possible pour les plagioclases, soit (010) ou (001). Il se centre en effet sur la courbe (001), dans le quadrant I, et tombe également entre les termes 60 et 70 % d'An.

Si l'on ne voulait pas procéder comme il a été indiqué, il faudrait, pour obtenir les points P et π , faire successivement la construction dans les quatre quadrants. Il suffirait de superposer simplement le calque sur la planche, et de voir dans quel quadrant la coïncidence des points obtenus avec les courbes se produit.

Les résultats seront rendus comme suit:

	n_g	n_m	n_p	Axe de macle	Plan de macle	Hémitropie	Loi de macle	Composition
Pôle de l'axe de macle $M =$	$-36\frac{1}{2}^\circ$	$64\frac{1}{2}^\circ$	$+68^\circ$	$\perp (010)$	(010)	normale	albite	68% An
Pôle du plan de macle P								
Pôle du plan de clivage π								
	$+50^\circ$	62°	$+57^\circ$	—	clivage (001)	—	—	68% An
$2 V = +88^\circ$								

Le feldspath est donc un labrador, maclé selon l'albite, à 68 % d'An. Des déterminations faites par les méthodes ordinaires sur des sections $S n_p$ et $S n_m$, maclées selon l'albite, ont donné de 62 à 65 % d'An.

Report sur le canevas de Fédorof (fig. 18).

Individu 1.

Premier plan d'élasticité: On place le zéro du canevas en regard de l'E, position initiale à laquelle il faut toujours revenir pour mesurer les valeurs successives de n . On met en face de 140° le signe X^1 , et trace les deux diamètres passant l'un par 140° , l'autre perpendiculaire à celui-ci. On place ensuite X^1 au N, puis appliquant la règle

stéréographique sur le diamètre E—W, on reporte, du côté de l'E et à partir du centre, $90^{\circ} - 42^{\circ} = 48^{\circ}$, et on inscrit en regard du pôle n_p^1 . On mesure ensuite $2 \times 48^{\circ} = 96^{\circ}$ qui, sur le même diamètre, donne le centre du grand cercle que

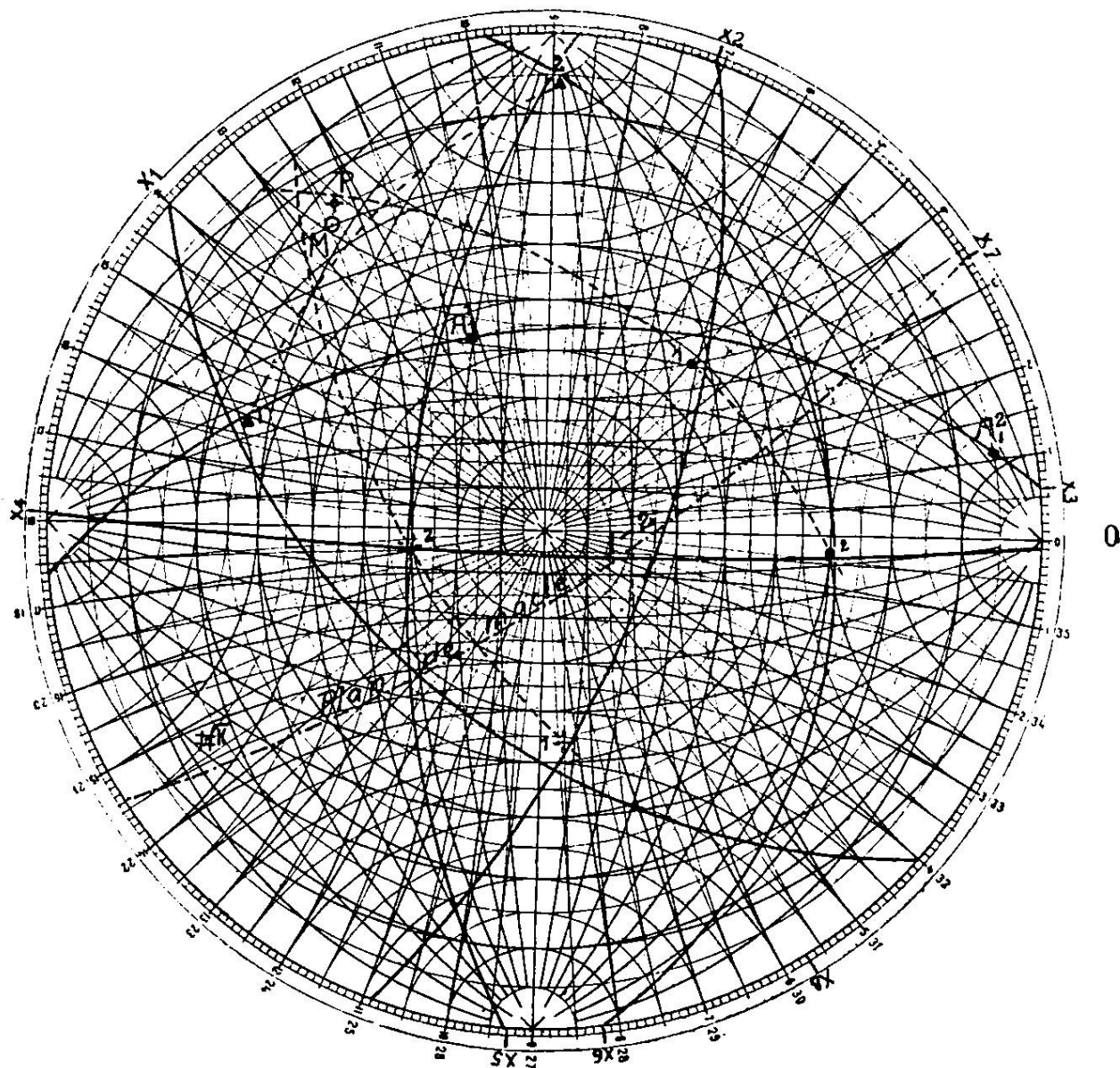


fig. 18. Projection stéréographique de la macle selon albite sur le canevas de Fédorof (1^{er} exemple).

l'on décrit du côté de l'W. Nous remarquerons de suite que pour ne pas charger la projection, nous ne tracerons ni les diamètres, ni les lignes de construction, mais seulement les grands cercles et les pôles.

Deuxième plan d'élasticité: On compte à partir du 0° un angle de 71° , trace les deux diamètres, met X^2 en

regard du N, et reporte avec la règle stéréographique sur le diamètre E—W et du côté de l'W, $90^\circ - 25^\circ = 65^\circ$, qui donne le pôle de n_g^1 , et $2 \times 65^\circ = 130^\circ$, ce qui donne le centre du cercle à tracer du côté de l'E.

Troisième plan d'élasticité: On reporte 6° , trace les diamètres, met X^3 au N, et reporte sur le diamètre E—W 46° vers l'E, ce qui donne le pôle de n_m^1 , et $2 \times 46^\circ = 92^\circ$, ce qui donne le centre du cercle à tracer du côté de l'W.

Report de l'axe optique A^1 . On place n_m^1 à l'E et reporte sur le cercle fondamental, à partir du cercle passant par n_m^1 et du côté opposé à celui-ci, un angle de 10° au S (la rotation ayant été effectuée vers le N). On joint le point obtenu avec n_m^1 , et à l'intersection avec le grand cercle qui est le plan des axes optiques se trouve l'axe optique A^1 . On trace la droite passant par n_m^1 et n_p^1 jusqu'au cercle de base et mesure entre cette droite et celle passant par $n_m^1—A^1$ l'angle compris, qui est de 46° . On reporte 46° de l'autre côté de la droite $n_m^1—n_p^1$, sur le cercle de base et joint le point obtenu avec n_m^1 . A l'intersection avec le plan des axes optiques se trouve le deuxième axe optique A^2 et l'angle des axes optiques est donc égal à $+ 88^\circ$.

Individu 2.

Le report des plans d'élasticité et des pôles des axes d'élasticité se fera exactement de la même façon que celui pour l'individu 1. Pour le premier plan, le pôle n_g^2 du cercle se trouvera à 84° à l'E, et le cercle, incliné de 6° à l'W, se tracera avec la règle flexible, qu'on incurvera en mettant son index en regard de 6° et en serrant le pivot moteur dans cette position. Le deuxième plan d'élasticité aura son pôle n_p^2 à 60° à l'W et son cercle à l'E, le troisième plan d'élasticité enfin aura son pôle n_m^2 à 30° à l'E et son cercle à l'W.

Le plan de macles P a son pôle à l'W, à 76° , et le plan lui-même se trouve à l'E. Quant au plan de clivage, il a son pôle π à 77° à l'E.

Recherche de l'axe de macles M . Il faut donc tracer les grands cercles $n_g^1—n_g^2$, $n_m^1—n_m^2$ et $n_p^1—n_p^2$. Pour ceci, on prendra le compas à trois pointes et on mettra les deux pointes des tiges à longueur fixe sur n_g^1 et n_g^2 , celle de longueur variable sur le centre du canevas, puis on fait

pivoter le compas autour du centre, de façon à ce que les deux pointes qui correspondaient avec n_g^1 et n_g^2 tombent sur un cercle méridien, ou dans une position voisine. On compte, à partir de ce méridien, et sur le diamètre normal à celui-ci 90° puis, laissant les deux pointes sur le méridien, on dégage celle qui coïncide avec le centre de projection, que l'on fait coïncider avec le point qui correspond au 90° mesurés. On soulève alors délicatement le compas, fait de nouveau coïncider les deux pointes situées sur le méridien avec n_g^1 et n_g^2 , et à l'endroit où se trouve maintenant la troisième pointe nous aurons le pôle du cercle $n_g^1—n_g^2$. On compte par les petits cercles la distance de ce pôle au centre de projection, double cette distance qu'on reporte sur le diamètre passant par le pôle, et l'on a ainsi le centre du cercle qu'il suffit de tracer. On répétera la même construction pour $n_m^1—n_m^2$ et $n_p^1—n_p^2$ et en centrant le triangle formé par l'intersection de ces trois grands cercles, nous aurons l'axe de macle M , qui est voisin, à quelques degrés près, du pôle P , d'où hémitropie normale.

Coordonnées de l'axe de macle M . Au moyen du compas à trois pointes dont la branche de longueur variable correspond avec le centre, on mesure successivement les arcs $n_g^1—n_g^2$, $n_m^1—n_m^2$, $n_p^1—n_p^2$, en plaçant les deux pointes fixes sur les deux pôles, et en faisant pivoter le compas autour de la pointe centrale, jusqu'à ce que les deux autres pointes tombent sur un méridien ou dans son voisinage. On compte alors, au moyen des petits cercles, l'angle compris entre $n_g^1—n_g^2$, $n_m^1—n_m^2$ et $n_p^1—n_p^2$, en notant si le pôle de l'axe de macle tombe à l'intérieur de l'arc passant par les deux axes $n_g^1—n_g^2$ etc., ou à l'extérieur. Dans le premier cas, on prendra la moitié de l'angle mesuré, dans le second cas le complément de la moitié.

Coordonnées du plan de clivage π . On opérera de la même façon avec le compas à trois pointes, en faisant coïncider les deux pointes de longueur fixe avec le pôle π et n_g^1 , n_m^1 et n_p^1 . On inscrira directement l'angle mesuré s'il est inférieur à 90° , on en prendra le supplément dans le cas contraire.

Nous ne redonnerons pas ici les valeurs trouvées sur la projection, qui sont identiques à celles données par l'hémisphère de Nikitin, pas plus que le report de ces valeurs sur le papier calque pour l'interprétation finale, qui reste identique.

2^{ème} Exemple. Macle de la péricline, par la platine théodolite.

La section étudiée est représentée fig. 19; elle provient d'un gabbro à olivine du British North Borneo (coupe 22 Br.). La section n'est pas zônée et permet en conséquence une meilleure détermination des différents plans d'élasticité. Vu la nature des lamelles maclées dont les plans de suture ne sont pas rigoureusement parallèles, la détermination du pôle

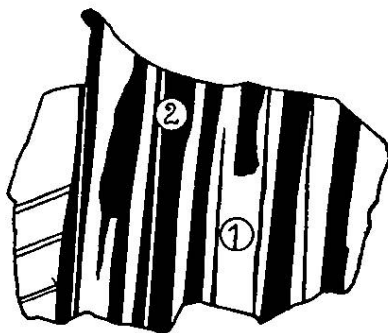


fig. 19. Plagioclase maclé selon la péricline (2^{ème} exemple).

du plan de macle est par contre un peu incertaine. Les données fournies par l'expérience sont les suivantes:

Individu 1:

$$\begin{aligned} n^1 &= 288^\circ; & h^1 &= 3^\circ \text{W}; & J &= n_p \\ n^2 &= 197^\circ; & h^2 &= 41^\circ \text{E}; & J &= n_m \\ JA_1^1 &= 53^\circ \text{N}; & JA_1^2 &= 54^\circ \text{S} \\ n^3 &= 15^\circ; & h^3 &= 50^\circ \text{E}; & J &= n_g \end{aligned}$$

Individu 2:

$$\begin{aligned} n^1 &= 159^\circ; & h^1 &= 15^\circ \text{W}; & J &= n_m \\ JA_1^1 &= 25^\circ \text{N}; & JA_1^2 &= 60^\circ (?) \text{S} \\ n^2 &= 244^\circ; & h^2 &= 19^\circ \text{E}; & J &= n_g \\ n^3 &= 106^\circ; & h^3 &= 66^\circ \text{E}; & J &= n_p \end{aligned}$$

Pôle du plan de macle 1—2: $n = 223^\circ$; $h = 19^\circ \text{W}$.

Report à l'aide du canevas de Wulff (fig. 20).

Individu 1.

Premier plan d'élasticité. On place un calque repéré sur le canevas, dont le diamètre équatorial est placé E—W et on inscrit le 0° en regard de l'E. A partir de ce 0° , on mesure alors sur le cercle de base un angle de 288° , met en regard le signe X^1 et trace le diamètre qui passe par ce signe et celui qui lui est perpendiculaire. On fait ensuite tourner le calque pour placer X^1 en face du N, reporte sur le diamètre E—W 3° à l'W, trace au crayon le cercle en

suivant le méridien qui passe par ce point, et reporte du côté de l'E et sur le diamètre E—W, un angle de 90° à partir du cercle tracé. Au point obtenu, on inscrit n_p^1 .

Deuxième plan d'élasticité. On compte, à partir du 0° , le calque étant remis dans sa position initiale, un angle de 197° sur le cercle de base et répète les mêmes constructions que précédemment, et après avoir mis X^2 au N, on reporte à l'E 41° , trace le cercle passant par ce point, et à partir de ce cercle on reporte 90° vers l'W. Au point correspondant, on inscrit le pôle de n_m^1 .

Report des axes optiques. Le diamètre passant par n_m^1 étant mis en coïncidence avec celui équatorial du canevas, n_m^1 étant à l'E, on compte sur le grand cercle qui est le plan des axes optiques, et à partir de l'intersection de ce cercle avec le diamètre passant par n_m^1 , 53° au S, et de l'autre côté de la même intersection, 54° au N. On a ainsi les deux axes optiques A_1^1 et A_2^1 avec $2V = 107^\circ$.

Troisième plan d'élasticité. On mesure à partir du 0° un angle de 15° , place X^3 au N et reporte à l'E 50° , en traçant le cercle passant par ce point. Puis à partir de l'intersection du cercle avec le diamètre équatorial, on compte 90° vers l'W et en regard du point on inscrit n_g^1 .

Individu 2.

Les opérations successives se décomposent comme suit: Mesurer sur le cercle de base 159° , mettre X^4 en regard du N, reporter sur le diamètre équatorial 15° à l'W, tracer le cercle et marquer en face du pôle de ce cercle n_m^2 . Mesurer maintenant à partir de l'intersection du cercle tracé avec le diamètre équatorial, et sur ce cercle, 25° qu'on reporte au S, ce qui donne la position de l'axe optique A_1^2 . On reportera au N un angle de 60° sur le même cercle, ce qui donnera la position du second axe optique A_2^2 . On mesurera ensuite sur le cercle de base 244° , et X^5 étant au N, on reporte 19° du côté de l'E sur le diamètre équatorial et trace le cercle. Le pôle de ce cercle sera n_g^2 . On mesure enfin sur le cercle de base 106° , puis mettant X^6 au N, on reporte sur le diamètre équatorial 66° à l'E. Au pôle de ce cercle nous inscrirons n_p^2 .

Plan de macle: Pour le plan de macle, on comptera sur le cercle de base 223° , mettra X^7 au N, reportera sur le diamètre équatorial 19° à l'W, et tracera le cercle passant

par ce point. Le pôle P de ce cercle sera celui du plan de macle.

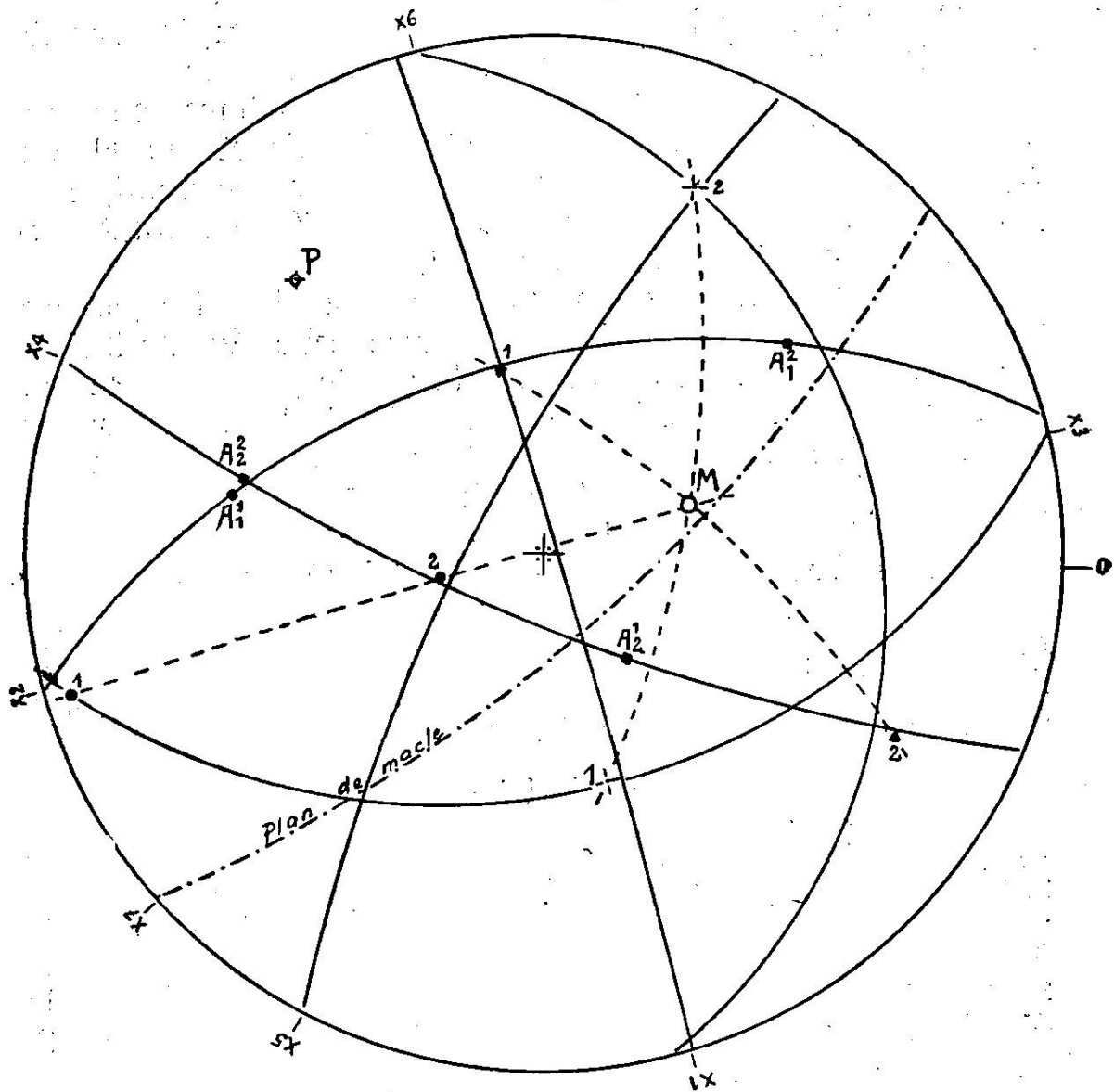


fig. 20. Projection stéréographique, construite à l'aide du canevas de Wulff, de la macle de la péricline (2^{ème} exemple).

Détermination de l'axe de macle M . Nous faisons passer trois grands cercles par $n_g^1-n_g^2$, $n_m^1-n_m^2$, $n_p^1-n_p^2$, ce qui est très facile. Il suffit de faire tourner le calque jusqu'à ce que les deux pôles par lesquels doivent passer les grands cercles, se trouvent sur un cercle méridien. On trace ensuite ce cercle au crayon, en suivant ce méridien. A l'intersection des trois grands cercles se trouve le pôle de

M , obtenu en centrant le petit triangle. Ce pôle tombe presque sur le plan de macle, l'hémitropie est donc parallèle, ou correspond à un complexe.

Pour les coordonnées du pôle M nous aurons :

$$\begin{aligned} n_g^1 - n_g^2 &= 102^\circ, \text{ pôle } M \text{ à l'intérieur de l'arc; } n_g - M = 51^\circ \\ n_m^1 - n_m^2 &= 113^\circ, \text{ « « « « « « ; } n_m - M = 56^\circ \frac{1}{2} \\ n_p^1 - n_p^2 &= 64^\circ, \text{ « « « l'extérieur « « ; } n_p - M = 90^\circ - \frac{64}{2} = 58^\circ \end{aligned}$$

Les coordonnées du pôle du plan de macle P seront :

$$n_g - P = 39^\circ; \quad n_m - P = 62^\circ \frac{1}{2}; \quad n_p - P = 63^\circ \frac{1}{2}.$$

Les arcs indiqués sont les moyennes entre $n_g^1 - P$ et $n_g^2 - P$, de même pour $n_m - P$ et $n_p - P$.

Report des coordonnées de l'axe de macle M et du pôle du plan de macle P . On opérera exactement comme il a été dit à propos du premier exemple, et on obtiendra deux points sur le calque, dans le quadrant I. En superposant le calque sur la planche I, et en examinant les différentes solutions compatibles pour obtenir la coïncidence des points avec les courbes figurées nous trouvons que :

Le pôle du plan de macle P tombe dans le quadrant I, sur la courbe de la migration du pôle de la face d'association de la péricline, tandis que le pôle de l'axe de macle M tombe à l'extérieur, et du côté tourné vers le centre de la courbe [010], dans le quadrant II. La conclusion qui se dégage de ceci c'est que nous sommes en présence de la macle de la péricline, et que le feldspath est voisin de 90 % An. En réalité le pôle de M tombe en dehors de la courbe indiquée, phénomène qui se produit ordinairement lorsque les plagioclases renferment de la potasse, le déplacement se faisant toujours du même côté de la courbe envisagée par rapport au centre.

Les données obtenues seront résumées comme suit :

	n_g	n_m	n_p	Axe de macle	Plan de macle	Type de l'hémitropie	Loi de macle	Composition
Pôle de l'axe de macle M	-51°	$56^\circ \frac{1}{2}$	$+58^\circ$	[010]	face de la zone p h ¹	parallèle	péricline	entre 80% et 90% An
Pôle du plan de macle P	$+39^\circ$	$62^\circ \frac{1}{2}$	$+63^\circ \frac{1}{2}$	—	face de la péricline	id.	id.	entre 90% et 100% An

$$2 V \text{ de } 1 = -73^\circ; \quad 2 V \text{ de } 2 = -85(?)$$

La détermination par les méthodes ordinaires y compris celle conoscopique de Becke, ont donné entre 82° et 92% d'An.

Perfectionnements et simplifications apportés aux méthodes.

Pour les relevés directs des coordonnées avec la platine, il y a toujours une incertitude au sujet de l'extinction, l'oeil appréciant assez mal les petites variations qui peuvent se faire dans la très faible lumière transmise au voisinage de l'extinction complète. On peut arriver à augmenter notablement la précision des mesures, en utilisant pour ceci la lame sensible de Wright, qui est montée sur une glissière métallique qu'on peut introduire dans l'oculaire. On détermine préalablement dans les conditions ordinaires ce que l'on croit être la position d'extinction la plus complète. Puis en enlevant l'analyseur du tube microscopique, on introduit la lame sensible, en mettant sur l'oculaire un analyseur auxiliaire, qu'on croise avec le polariseur. Dans ces conditions, l'individu qui est à l'extinction doit présenter la même teinte de part et d'autre de la ligne de suture des deux moitiés de la lame. Si tel n'est pas le cas, une très faible rotation autour de n et de h permettra d'obtenir ce résultat. La persistance de l'égalité des teintes sera vérifiée par la rotation autour de J . Il est entendu que la lame sensible est supposée rigoureusement réglée par rapport aux sections principales des nicols. Dans le cas où la section est zonée, il est préférable d'opérer sans lame sensible.

En ce qui concerne le relevé du plan de macle, qui est toujours une opération délicate, il vaut mieux procéder avec l'analyseur auxiliaire qu'avec celui du tube du microscope, l'opération présentant un caractère d'exactitude plus grand.

Pour les inclinaisons autour de H il y a un certain désavantage à ce que le bord relevé du disque, qui détermine le sens du report, soit alternativement d'un côté ou de l'autre par rapport à l'observateur. On peut arriver à supprimer cet inconvénient, en remarquant que si par exemple la platine est inclinée d'un certain côté pour une certaine valeur déterminée de l'angle n , cette même platine sera inclinée en sens inverse pour une valeur de n à 180° de la première; on pourra donc toujours obtenir une inclinaison constante, qu'on peut choisir par exemple contre l'observateur dans le

microscope théodolite (bord relevé du disque au N), et à sa droite dans le cas de la platine adaptable (bord relevé à l'W). Il suffira, au cas où le sens de l'inclinaison est contraire à celui adopté, de tourner de 180° autour de N, ce qui permettra d'obtenir le résultat cherché.

En ce qui concerne les reports, on peut simplifier considérablement les manipulations en opérant de la façon suivante: Au lieu de reporter le pôle des grands cercles sur la perpendiculaire à la trace de ces derniers, on reporte le pôle sur la trace du grand cercle lui-même, en déterminant la position de ce pôle sur cette droite par la valeur de l'angle h comptée à partir du cercle de base et du signe X. Sauf dans certains cas spéciaux, on ne tracera pas le grand cercle correspondant, ce qui déchargera beaucoup la projection. L'opération que nous venons de décrire revient en somme à faire tourner la projection de 90° .

En pratique, on procédera donc comme suit: ayant mesuré sur le cercle de base la valeur de n , on fera tourner le calque de façon à ce que l'index mis en regard de celui-ci, coïncide avec l'extrémité de l'un des deux diamètres du canevas, et on reporte h à partir du cercle de base et de cet index. On inscrira en regard du point le pôle n_g , n_m , ou n_p , qui lui correspond. Il est indifférent, pour les reports, d'avoir travaillé avec la platine adaptable ou le microscope théodolite. Les mesures et les reports se feront de la même manière, soit qu'il s'agisse d'un axe d'élasticité, d'un pôle de plan de macle ou d'un pôle de clivage.

Quant aux axes optiques, il faudra tenir compte du sens de la rotation autour de l'axe J, qui sera reportée en sens inverse de celle effectuée. Dans les exemples qui suivent, nous emploierons exclusivement le système de simplification indiqué. Nous recommandons, dans le cas d'une macle compliquée, de reporter chaque macle séparément sur un papier calque pour le relevé des coordonnées.

3^{ème} Exemple. Macle du complexe albite-Ala B, et hémitropie normale de Manébach, par le microscope théodolite.

La section étudiée et représentée fig. 21 se trouve dans un gabbro de provenance inconnue. Les données expérimentales sont:

Individu 1:

$$n^1 = 115^\circ; h^1 = 17^\circ \text{ (mauvais); } J = n_m$$

$$JA_1^1 = 340^\circ = 20^\circ \text{ W}$$

$$n^2 = 212^\circ; h^2 = 22^\circ; J = n_g$$

$$n^3 = 350^\circ; h^3 = 62^\circ; J = n_p \text{ (construit)}$$

Individu 2:

$$n^1 = 305^\circ; h^1 = 35^\circ; J = n_g$$

$$n^2 = 54^\circ; h^2 = 26^\circ; J = n_m$$

$$JA_2^1 = 2^\circ \text{ E}$$

$$n^3 = 173^\circ; h^3 = 44^\circ; J = n_p$$

Pôle du plan de macle 1—2: $n = 258^\circ; h = 34^\circ$.

Individu 3:

$$n^1 = 110^\circ; h^1 = 17^\circ; J = n_m$$

$$JA_3^1 = 337^\circ = 23^\circ \text{ W}$$

$$n^2 = 207^\circ; h^2 = 17^\circ; J = n_g$$

$$n^3 = 340^\circ; h^3 = 64^\circ; J = n_p \text{ (construit)}$$

Pôle du plan de macle 2—3: $n = 349^\circ; h = 13^\circ$.

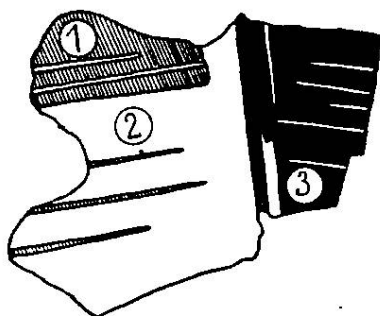


fig. 21. Plagioclase maclé simultanément selon albite-Ala B et Manébach (3ème exemple).

Reports: Pour les reports, on mesurera chaque fois n sur le cercle de base du canevas de Wulff, mettra en regard le signe X, fera coïncider le signe avec un des diamètres et reportera, à partir du cercle de base et sur le diamètre en question, la valeur mesurée de h , en inscrivant en regard du pôle le caractère de l'axe, soit n_g , n_m , ou n_p . On fera la même chose pour les pôles des plans de macle, mais on tracera aussi les cercles correspondants à ceux-ci (fig. 22).

Recherche des axes de macle.

1) Entre 1 et 2. On mènera les cercles $n_g^1—n_g^2$, $n_m^1—n_m^2$ et $n_p^1—n_p^2$. A leur intersection se trouvera l'axe

$$n_g^1 - n_g^2 = 80^\circ; \text{ P\^ole } M^1 \text{ \^a l'ext\'erieur de l'arc; } n_g - M^1 = 90^\circ - \frac{80}{2} = 50^\circ$$

$$n_m^1 - n_m^2 = 56^\circ; \text{ " " " " " " ; } n_m - M^1 = 90^\circ - \frac{56}{2} = 62^\circ$$

$$n_p^1 - n_p^2 = 74^\circ; \text{ " " " " " " ; } n_p - M^1 = 90^\circ - \frac{74}{2} = 53^\circ$$

Coordonn\'ees du p\^ole du plan de macle P^1 :

$$P^1 - n_g = 40^\circ \cdot P^1 - n_m = 63^\circ \quad P^1 - n_p = 62^\circ$$

Coordonn\'ees de l'axe de macle M^2 entre
2—3 = coordonn\'ees du p\^ole du plan de macle P^2
(h\'emitropie normale):

$$n_g^2 - n_g^3 = 86^\circ; \text{ P\^ole } M^2 \text{ \^a l'ext\'erieur de l'arc; } n_g - M^2 = 90 - \frac{86}{2} = 47^\circ$$

$$n_m^2 - n_m^3 = 52^\circ; \text{ " " " " " " ; } n_m - M^2 = 90 - \frac{52}{2} = 64^\circ$$

$$n_p^2 - n_p^3 = 70^\circ; \text{ " " " " " " ; } n_p - M^2 = 90 - \frac{70}{2} = 55^\circ$$

Discussion. Nous commencerons par fixer le p\^ole M^2 de l'h\'emitropie normale, qui ne peut tomber que sur les courbes (001), (010) ou (021). Dans le cas particulier, ce p\^ole tombe sur la courbe (001) du quadrant I, au voisinage de 75 % An. Nous avons donc la macle de Man\'ebach.

Cherchons maintenant le p\^ole de l'axe M^1 qui devra tomber sur une courbe d'h\'emitropie parall\^ele, ou sur une courbe d'un complexe. Ce p\^ole tombe, ou bien dans le quadrant I sur la courbe du complexe $\frac{\perp [100]}{(010)}$ au voisinage de 75 % An, ou bien dans le quadrant II, sur la courbe [010] au voisinage de 100 % An. Il y a donc ind\'ecision, bien que la solution qui concorde avec les r\'esultats fournis par le p\^ole M^2 soit la plus vraisemblable. Dans ce cas, ce serait la courbe du complexe qui devrait \^etre envisag\'ee.

Il s'agit maintenant de trouver le p\^ole du plan de macle 1—2. Celui-ci tombe dans le quadrant I, sur la courbe de la p\'ericline, au voisinage de 95 % An. Nous venons de voir que l'axe de macle 1—2 peut se centrer sur la courbe [010], qui est celle de l'axe de macle de la p\'ericline; nous aurions donc dans ce cas une h\'emitropie parall\^ele, qui serait la macle de la p\'ericline, avec un pourcentage de 100 % An environ.

Le p\^ole du plan de macle 1—2 se centre du reste aussi sur la courbe (010) du quadrant II, au voisinage de 80 % An. Pour trancher la question, il suffit de remarquer que sur

les figures 21 et 22 le plan de macle 1—2 est sensiblement normal à celui entre 2—3, qui est indubitablement p (001). Le plan 1—2 ne peut donc être celui de la péricline, mais bien g^1 (010). Nous avons donc affaire avec le complexe albite-Ala B.

Les données finales seront donc résumées comme suit:

	n_g	n_m	n_p	Axe de macle	Plan de macle	Hémitropie	Loi de macle	Composition
Pôle de l'axe de macle M^1	+50°	62°	+53°	$\perp[100]$	(010)	complexe	albite-Ala B	75% An
Pôle du plan de macle P^1	-40°	63°	+62°		(010)	«	«	80% An
Pôle de l'axe de macle M^2 = pôle du plan P^2	+47°	64°	+55°	$\perp(001)$	(001)	normale	Manébach	75% An

$$\left. \begin{array}{l} 2 V \text{ de l'individu } 1 = -84^\circ \\ 2 V \text{ « } \text{ « } 2 = -82^\circ \\ 2 V \text{ « } \text{ « } 3 = -82^\circ \end{array} \right\} = \text{environ } 75\% \text{ An.}$$

Nous insistons tout particulièrement sur le fait que pour le plagioclase de la composition indiquée, et pour la combinaison des hémitropies en question, trois des axes optiques, appartenant respectivement aux individus 1, 2 et 3 se confondent presque (voir fig. 22). Les trois grands cercles des plans des axes optiques de ces individus se croisent en effet, en formant un très petit triangle. Cette macle compliquée pourrait donc être aussi déterminée par la méthode conoscopique de Becke.

4^{ème} Exemple. *Macle simultanée de l'albite et de Karlsbad.*

La section étudiée représentée fig. 23, se trouve dans une Andésite à hornblende du cap Marsa (No. 16); elle est zônée irrégulièrement, ce qui rend la détermination moins précise. Les données expérimentales sont:

Individu 1:

$$\begin{array}{l} n^1 = 118^\circ; h^1 = 35^\circ; J = n_p \\ n^2 = 209^\circ; h^2 = 0^\circ; J = n_g \\ n^3 = 299^\circ; h^3 = 55^\circ \text{ (mauvais); } J = n_m \end{array}$$

Individu 2:

$n^1 = 218^\circ$; $h^1 = 27^\circ$ (mauvais); $J = n_m$

$JA_2^1 = 2^\circ E$

$n^2 = 338^\circ$; $h^2 = 35^\circ$ (mauvais); $J = n_g$

$n^3 = 104^\circ$; $h^3 = 40^\circ$ (mauvais); $J = n_p$

Plan de macle 1—2 $n = 5^\circ$; $h = 18^\circ$

Individu 3:

$n^1 = 232^\circ$; $h^1 = 52^\circ$ (mauvais); $J = n_p$

$n^2 = 339^\circ$; $h^2 = 13^\circ$; $J = n_g$

$n^3 = 79^\circ$; $h^3 = 35^\circ$; $J = n_m$

Le plan de macle 2—3 est identique à 1—2.

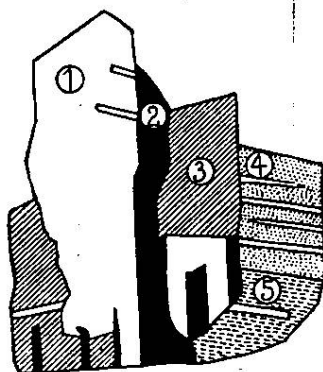


fig. 23. Plagioclase maculé selon albite et Karlsbad (4ème exemple).

La section présente encore deux individus, soit 4 et 5. La détermination de leurs coordonnées montre qu'ils ne sont pas associés avec les précédents. Les individus 4 et 5 forment cependant une macle de la péricline. Nous n'avons pas représenté les données de ces individus dans la fig. 24 pour ne pas trop charger la projection.

Report. Les reports se font exactement comme dans le cas précédent, avec le canevas de Wulff. Seuls les pôles des axes d'élasticité, le pôle du plan de macle et le grand cercle du plan de macle ont été tracés. Les individus étaient trop fins pour la recherche des axes optiques (fig. 24).

Recherche des axes de macle.

1) Axe de macle M^1 entre 1—2. On mène les cercles $n_g^1—n_g^2$, $n_m^1—n_m^2$ et $n_p^1—n_p^2$. L'intersection donne l'axe M^1 , qui se confond avec le pôle du plan de macle P^1 , donc hémitropie normale.

2) Axe M^2 entre 1—3. On mène les grands cercles passant par $n_g^2—n_g^3$ etc. Le pôle de l'axe M^2 tombe tout

près du plan de macle 1—2 = 2—3, donc hémitropie parallèle ou complexe.

3) Axe M^3 entre 2—3. On opérera de même, en faisant passer les grands cercles $n_g^2—n_g^3$ etc. Le pôle de l'axe M^3 tombe près du plan de macle 1—3 = 1—2 = 2—3, et à 90° du pôle M^2 , donc hémitropie parallèle ou complexe.

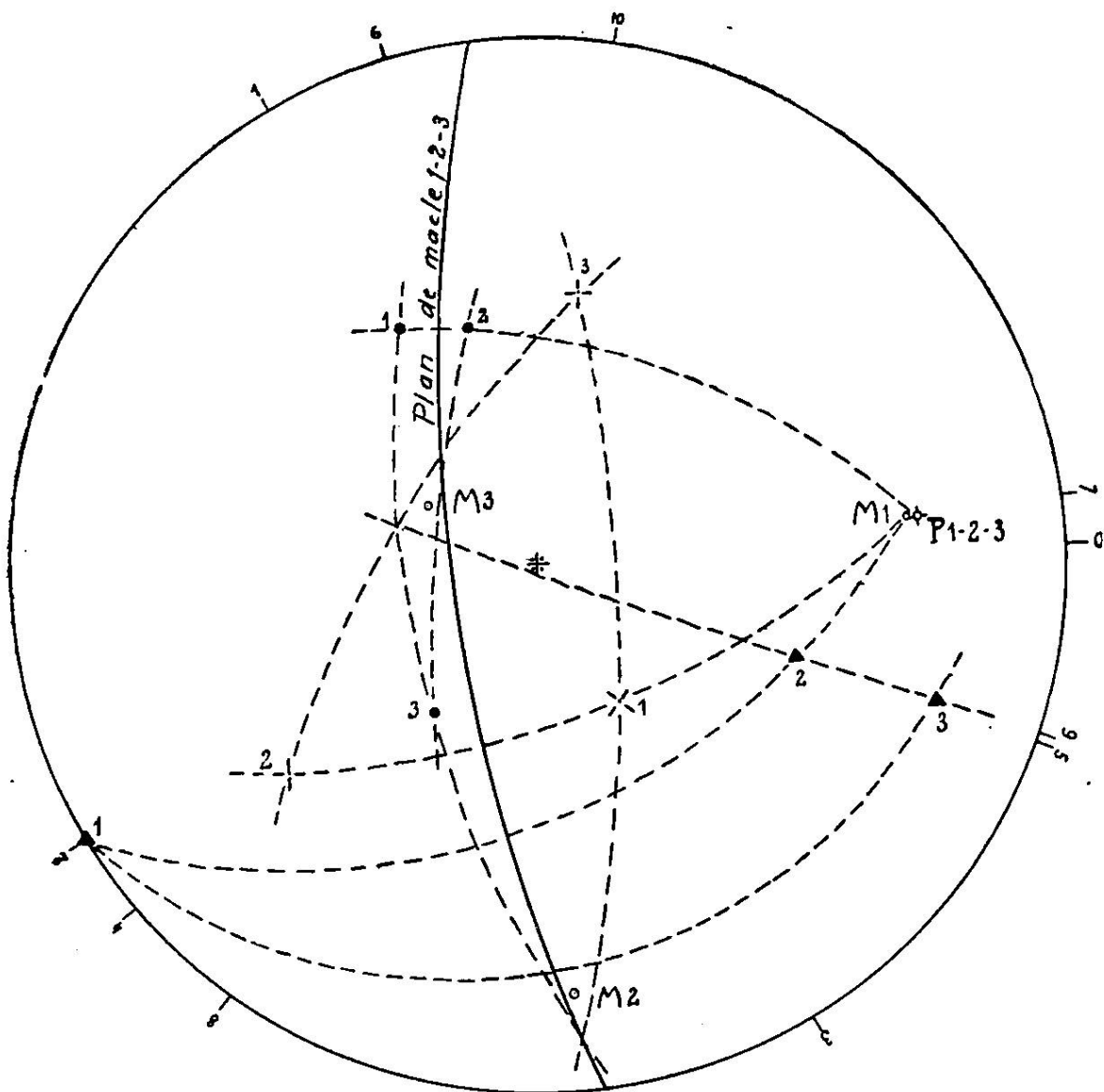


fig. 24. Projection stéréographique simplifiée, construite à l'aide du canevas de Wulff, de la macle simultanée de l'albite et de Karlsbad (4ème exemple).

Les coordonnées de l'axe de macle M^1 entre 1—2 sont les suivantes:

$$n_g^1 - n_g^2 = 121^\circ; \text{ P\^ole } M^1 \text{ \^a l'ext\'erieur de l'arc; } n_g - M^1 = 90^\circ - \frac{121^\circ}{2} = 29\frac{1}{2}^\circ$$

$$n_m^1 - n_m^2 = 62^\circ; \text{ " " " " " " ; } n_m - M^1 = 90^\circ - \frac{62^\circ}{2} = 59^\circ$$

$$n_p^1 - n_p^2 = 12^\circ; \text{ " " " " " " ; } n_p - M^1 = 90^\circ - \frac{12^\circ}{2} = 84^\circ$$

Coordonnées du p\^ole du plan de macle P^1
 $= M^1$:

Coordonnées de l'axe de macle M^2 entre 1
 et 3:

$$n_g^1 - n_g^3 = 128^\circ; \text{ P\^ole } M_2 \text{ \^a l'int\'erieur de l'arc; } n_g - M_2 = 64^\circ$$

$$n_m^1 - n_m^3 = 86^\circ; \text{ " " " l'ext\'erieur " " ; } n_m - M_2 = 90^\circ - \frac{86^\circ}{2} = 47^\circ$$

$$n_p^1 - n_p^3 = 76^\circ; \text{ " " " " " " ; } n_p - M_2 = 90^\circ - \frac{76^\circ}{2} = 52^\circ$$

Coordonnées du p\^ole du plan de macle P^2
 $= P^1$ *):

$$n_g - P^2 = 28^\circ \quad n_m - P^2 = 67^\circ \quad n_p - P^2 = 81^\circ$$

Coordonnées de l'axe de macle M^3 entre 2
 et 3:

$$n_g^2 - n_g^3 = 22^\circ; \text{ P\^ole } M_3 \text{ \^a l'ext\'erieur de l'arc; } n_g - M_3 = 90^\circ - \frac{22^\circ}{2} = 79^\circ$$

$$n_m^2 - n_m^3 = 106^\circ; \text{ " " " l'int\'erieur " " ; } n_m - M_3 = 53^\circ$$

$$n_p^2 - n_p^3 = 78^\circ; \text{ " " " " " " ; } n_p - M_3 = 39^\circ$$

Coordonnées du p\^ole du plan de macle P^3
 $= P^2 = P^1$ †):

$$n_g - P^3 = 28^\circ \quad n_m - P^3 = 61^\circ \quad n_p - P^3 = 82\frac{1}{2}^\circ$$

Discussion: Le p\^ole de M^1 , axe d'h\'emitropie normale, tombe dans le voisinage de la courbe (010) du quadrant II, donc macle de l'albite, mais il est rejet\'e du c\^ot\'e du centre de la projection, le plagioclase renfermant sans doute de la potasse. Il tombe entre les termes 40 % An et 50 % An.

Le p\^ole de M^2 avec axe d'h\'emitropie parall\^ele ou complexe, tombe au voisinage de la courbe [001] du quadrant I, qui est la courbe de l'h\'emitropie parall\^ele de Karlsbad voisin du terme 40 % An.

Le p\^ole P^2 du plan de macle tombe au voisinage de la courbe (010), la face d'association est donc (010). Il donne environ 50 % An.

*) Moyennes entre $n_{g_1} - P_2$ et $n_{g_3} - P_2$ etc.

†) Moyennes entre $n_{g_2} - P_3$ et $n_{g_3} - P_3$ etc.

Le pôle de l'axe de macle M^3 tombe sur la courbe $\perp [001]$ du quadrant IV, donc complexe albite-Karlsbad, près (010) du terme 40 % An.

Le pôle du plan de macle P^3 tombe également au voisinage de la courbe (010) et du côté du centre de celle-ci (quadrant II), entre les termes 40 % An et 50 % An. La face d'association est donc aussi (010).

Les données finales seront résumées comme suit:

	n_g	n_m	n_p	Axe de macle	Plan de macle	Hémitropie	Loi de macle	Composition
Pôle de l'axe de macle $M_1 =$								
Pôle du plan de macle P_1	$-29\frac{1}{2}^\circ$	59°	$+84^\circ$	$\perp (010)$	(010)	normale	albite	45 % An environ
Pôle de l'axe de macle M_2	$+64^\circ$	47°	$+52^\circ$	[001]	(010)	parallèle	Karlsbad A	42 % « «
Pôle du plan de macle P_2	-28°	67°	$+81^\circ$	—	(010)	«	«	50 % « «
Pôle de l'axe de macle M_3	$+79^\circ$	53°	-39°	$\perp [001]$	(010)	complexe	albite-Karlsbad A	41 % « «
Pôle du plan de macle P_3	-28°	61°	$+82\frac{1}{2}^\circ$	—	(010)	«	«	45 % « «

Les déterminations par les autres méthodes, notamment sur des faces g^1 (010) zônées, donnent des oscillations entre 38° et 60 % d'An. La roche, analysée, renferme 2,69 % de K_2O . La structure zônée est très probablement due à la présence de cette potasse et les résultats obtenus par la méthode de Fédorof coïncident bien avec la moyenne de ceux donnés par les autres méthodes.

Nous observerons en terminant, que la méthode de Fédorof, pour une détermination complète d'un plagioclase, exige un temps qui varie naturellement avec la complication de la macle considérée. Ordinairement, quand il s'agit d'une macle simple, l'opération au microscope et les reports exigent environ une heure. Quand il s'agit de macles complexes, l'opération exige plusieurs heures, et par conséquent le nombre des sections que l'on peut ainsi étudier est limité. Il ne faut donc pas considérer la méthode de Fédorof comme devant remplacer définitivement les autres méthodes de détermination, qui gardent leur valeur. Ce sera de toute façon

un contrôle extrêmement précieux des données obtenues par ces méthodes, qui évitera de grosses erreurs qui pourraient être commises pour l'interprétation des macles. Nous attirons également l'attention sur les erreurs que l'on peut commettre en travaillant et qui sont réduites au minimum en employant les perfectionnements indiqués. Pour les mesures, on se trompe souvent sur le caractère de l'axe attribué à J , en inversant notamment n_g et n_p . Pour les reports, il n'y a pas de doute à avoir sur le sens et on ne saurait commettre des erreurs si on se tient exactement aux indications données.

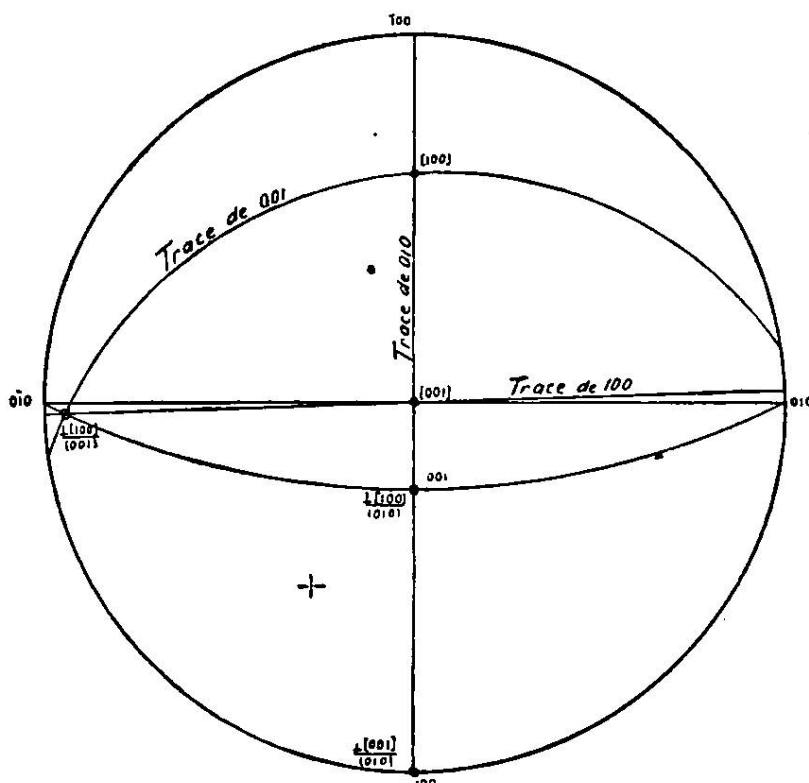


fig. 25. Projection stéréographique du plagioclase type f.

Appendice.

Nous nous sommes servis des données qui figurent au tableau p. 69 pour la construction de la fig. 14 (page 39), ainsi que de la planche I. Dans la fig. 14¹), la migration des différents axes de l'ellipsoïde optique est rapportée à la face g^1 (010), fixe pour tous les termes des plagioclases.

¹) Dans la fig. 14 page 39 le pôle de n_g du type c se trouve tout près du pôle de la face (010), au lieu de figurer au voisinage de (0 $\bar{1}$ 0), le signe de l'angle φ ayant été changé par erreur.

Données numériques des plagioclases.

Type	a ¹⁾		b ²⁾		c ²⁾		d ²⁾		e ³⁾		f ²⁾		g ²⁾		h ⁴⁾	
% An	0,5		13		20		25 (+3% Or)		35		52		73		97	
Position	λ	φ	λ	φ	λ	φ	λ	φ	λ	φ	λ	φ	λ	φ	λ	φ
A	+64.2	-49.1	+67.0	-46.0	+69.0	-42.0	+72.0	-40.0	+75.8	-41.7	+76.7	-55.7	+64.0	-56.0	+58.4	-62.9
B	-76.5	-47.8	+85.5	+47.5	+70.0	+44.0	+60.0	+41.0	+42.3	+39.7	+15.7	+35.0	+1.8	+12.7	-6.1	-1.7
n_g	-8.0	-73.3	-8.0	-81.0	+50.0	-88.8	-27.0	+83.0	-28.0	+71.5	-26.5	+62.2	-33.0	+50.2	-33.0	+43.7
n_m	-5.0	+17.0	-13.0	+9.0	-20.4	+0.8	-24.0	-6.8	-31.7	-18.2	-55.6	-24.5	-81.0	-28.8	+83.0	+25.5
n_p	+85.0	-0.6	+77.0	+0.8	+69.5	+1.2	+66.0	+0.4	+59.0	-1.2	+40.0	-12.0	+23.7	-24.7	+13.2	-36.0
$g^1(010)^5)$. .	0.0	+90.0	0.0	+90.0	0.0	+90.0	0.0	+90.0	0.0	+90.0	0.0	+90.0	0.0	+90.0	0.0	+90.0
$p(001)^5)$. .	-26.5	+3.8	-26.5	+3.8	-26.5	+3.8	-26.5	+3.8	-26.3	+3.8	-26.3	+3.8	-26.0	+4.0	-26.0	+4.0
$h^1(100)^5)$. .	-90.0	-1.0	-90.0	+1.0	-90.0	+1.0	-90.0	+1.3	-90.0	+1.5	-90.0	+2.0	-90.0	+2.0	-90.0	+3.0
σ Becke ²⁾ . .	+13.0		+5.0		+4.0		+4.0		0.0		-2.0		-9.0		-18.0	
σ Wülfing ⁵⁾ . .	+37.0		+12.0		+7.0		+5.0		+2.0		-2.0		-7.0		-18.0	

¹⁾ O. Grosspietsch: Krystallform und optische Orientierung des Albit von Morro Velho und Grönland. Tscher-
maks min. petr. Mitt. N. F. Bd. 27, 1908, p. 353.

²⁾ F. Becke: III. Zur Physiographie der Gemengteile der krystallinen Schiefer. Denkschr. math. naturw. Kl. k.
Akad. Wiss. Bd. 75, Wien 1906.

³⁾ F. Becke: Die optischen Eigenschaften einiger Andesine. Tschermaks min. petr. Mitt. N. F. Bd. 35, 1921, p. 31.

⁴⁾ J. Kratzert: Die kristallographischen und optischen Konstanten des Anorthits vom Vesuv. Z. X., 56. Bd.,
5. Heft, 1921, p. 465.

⁵⁾ E. A. Wülfing: Lassen sich die kristallographischen Fundamentalwinkel der Plagioklase mit der Zusammen-
setzung in gesetzmäßige Beziehung bringen? Sitzungsber. Heidelberger Akad. Wiss. mathem. naturw. Kl., Abt. A;
1915, 13. Abhandlung.

Données numériques qui ont servi

	(010)			(001)			(100)			(021)		
	<i>n_g</i>	<i>n_m</i>	<i>n_p</i>	<i>n_g</i>	<i>n_m</i>	<i>n_p</i>	<i>n_g</i>	<i>n_m</i>	<i>n_p</i>	<i>n_g</i>	<i>n_m</i>	<i>n_p</i>
Type a . .	+16.2	73.0	+89.7	-78.0	24.5	-68.3	+86.5	85.8	- 5.0	+58.5	34.7	-75.9
« b . .	+ 9.0	81.0	+89.2	-85.1	14.5	-76.2	90.0	77.2	-13.2	+51.6	40.0	-80.9
« c . .	+ 1.2	89.1	+88.8	90.0	6.5	-84.1	+88.5	69.5	-20.5	+43.3	46.7	-86.5
« d . .	- 7.0	83.2	-89.6	+79.0	10.6	+87.7	+85.5	66.5	-24.0	+35.8	53.9	-88.3
« e . .	-18.5	71.5	+88.8	+68.0	22.5	+85.5	+80.0	60.7	-31.0	+24.6	65.4	+88.2
« f . .	-27.7	65.6	+78.2	+58.5	39.9	+67.7	+76.0	43.0	-50.5	+15.3	75.8	+83.7
« g . .	-39.8	61.2	+65.4	+46.5	62.0	+56.2	+68.2	32.3	-68.0	+ 5.5	89.7	+84.5
« h . .	-46.3	64.7	+54.2	+39.2	74.5	+54.0	+65.0	29.0	-78.0	- 6.7	83.0	+89.8

	$\frac{\perp [100]}{(010)}$			$\frac{\perp [010]}{(001)}$			$\frac{\perp [100]}{(001)}$			péricline Becke		
	<i>n_g</i>	<i>n_m</i>	<i>n_p</i>	<i>n_g</i>	<i>n_m</i>	<i>n_p</i>	<i>n_g</i>	<i>n_m</i>	<i>n_p</i>	<i>n_g</i>	<i>n_m</i>	<i>n_p</i>
Type a . .	-75.8	26.8	-68.8	-87.5	68.8	+21.3	+13.0	76.5	-89.2	-78.0	15.0	-82.0
« b . .	-81.8	16.0	-76.7	+87.5	76.5	+13.2	+ 5.6	84.4	90.0	-85.0	10.0	-81.7
« c . .	90.0	6.0	-84.0	-89.3	84.4	+ 5.8	- 3.2	87.8	-88.6	+87.0	3.5	-88.3
« d . .	+83.5	7.2	-88.0	90.0	87.8	+ 2.0	-10.7	79.5	-89.4	+79.2	10.7	+88.5
« e . .	+71.3	19.5	+85.4	90.0	85.0	- 5.0	-21.7	68.0	+88.2	+67.8	22.7	+85.5
« f . .	+62.3	37.2	+66.9	-89.5	64.0	-26.5	-31.2	62.5	+76.3	+58.5	38.7	+69.5
« g . .	+50.3	59.8	+54.0	+85.5	45.0	-46.0	-44.0	59.0	+62.8	+46.0	54.7	+64.0
« h . .	+44.0	72.7	+51.5	+84.2	32.7	-58.2	-50.3	63.5	+51.0	+39.7	63.0	+63.6

¹⁾ Ne figurent pas sur la planche I.

à la construction de la planche I.

(110)			[010]			[001]			[100]			$\frac{\perp[001]}{(010)}$		
n_g	n_m	n_p	n_g	n_m	n_p	n_g	n_m	n_p	n_g	n_m	n_p	n_g	n_m	n_p
+64.5	77.6	-29.5	+12.5	77.5	+88.0	-73.7	17.8	+85.0	-84.6	69.7	+21.3	+88.0	85.2	- 5.0
+62.5	74.5	-32.0	+ 5.2	84.8	-89.0	-81.5	15.5	+77.0	-87.2	76.7	+13.3	+88.0	77.5	-13.0
+60.2	71.8	-36.3	- 3.5	87.0	+89.0	+89.3	20.3	+69.7	-89.0	84.0	+ 6.0	+89.2	69.8	-20.3
+57.5	73.0	-37.8	-11.0	79.0	90.0	+83.8	24.8	+66.0	90.0	87.8	+ 2.2	+87.0	66.4	-24.0
+54.0	73.7	-40.3	-22.5	68.0	+88.0	+73.8	36.0	+59.2	90.0	84.1	- 4.9	+81.7	60.3	-30.8
+50.0	65.4	-50.0	-31.6	62.0	+77.0	+65.3	59.0	+41.7	-89.8	63.8	-26.5	+78.3	41.6	-51.0
+45.5	61.5	-57.9	-44.0	58.0	+63.0	+57.5	82.0	+33.7	+85.8	44.2	-46.3	+69.8	30.2	-68.7
+45.8	57.8	-62.0	-50.5	61.7	+52.0	-52.7	83.8	-38.3	+85.2	31.3	-59.0	+67.0	26.0	-79.4

péricline Wülfing			$(\bar{1}10)^1$			$(\bar{1}01)^1$			$(\bar{2}01)^1$			$(0\bar{2}1)^1$		
n_g	n_m	n_p	n_g	n_m	n_p	n_g	n_m	n_p	n_g	n_m	n_p	n_g	n_m	n_p
-79.0	19.3	+74.5	+60.2	86.0	+29.8	-79.3	33.3	+59.2	-84.4	61.6	+29.2	-31.3	63.3	-75.0
-85.0	6.0	+88.7	-60.2	83.3	-31.2	-85.5	38.0	+52.0	-87.8	68.7	+21.2	-39.8	52.5	-79.6
+87.0	3.2	+88.7	-61.8	72.8	-34.0	+88.2	45.5	+44.7	+89.2	76.3	+13.6	-46.5	44.0	-85.0
+79.2	10.7	+87.5	-65.0	66.0	-36.0	+83.0	49.8	+41.0	+87.3	80.0	+10.1	-54.0	36.5	-88.0
+67.8	23.1	+83.5	-70.5	54.0	-42.6	+76.0	59.4	+34.3	+86.2	88.1	+ 4.5	-65.5	25.0	+85.5
+58.5	38.7	+69.5	-76.6	31.1	-62.8	+71.2	82.1	+20.5	-87.3	71.0	-19.2	-74.8	30.0	+64.3
+46.0	56.0	+62.0	-87.0	8.2	-82.8	-68.4	75.2	-26.5	-89.6	51.5	-38.6	+86.5	45.5	+44.2
+39.7	63.0	+63.6	+87.3	6.3	+84.3	-65.8	60.6	-39.6	-89.3	38.0	-53.0	+87.0	59.5	+31.5

La planche 1 montre par contre la migration des éléments cristallographiques, tels que plans et axes de macle, par rapport aux axes n_g , n_m et n_p , supposés fixes pour tous les plagioclases. La fig. 25 représente le feldspath à 52 % d'An en projection stéréographique, le plan de projection étant normal à la zone du prisme et les coordonnées de la face g^1 (010) étant $\lambda = 0$ et $\varphi = +90^\circ$. Nous y avons reporté la position de n_g , n_m et n_p , celle des faces p (001) et h^1 (100), des arêtes [001] et [100], qui sont des axes d'hémitropie parallèle, et de plusieurs arêtes normales sur les précédentes, et comprises dans différents plans, qui sont les axes de macle des complexes. En mesurant les arcs compris entre les pôles de ces divers éléments et les axes n_g , n_m et n_p , on obtient les coordonnées des points des différentes courbes de la planche 1 pour les divers types feldspathique. Nous avons évalué ces arcs pour les différents types désignés par a, b, c etc. à l'aide de l'hémisphère de Nikitin (on aurait pu se servir également du canevas de Wulff); les valeurs obtenues figurent dans le tableau p. 70—71. Elles nous ont servi à établir la planche 1. Pour faciliter la détermination du pourcentage en anorthite des feldspaths, nous n'avons pas conservé les points a, b, c etc., mais nous en avons reporté d'autres, notés 1, 2, 3, qui indiquent respectivement 10, 20, 30 % d'An. Ces points ont été obtenus par interpolation. Parmi les courbes calculées, il en est dont l'importance est pour le moment secondaire. Tel est le cas pour les courbes $(\bar{1}10)$, $(\bar{1}01)$, (201), et (021). Les valeurs respectives figurent dans le tableau, mais nous n'avons pas tracé les courbes sur la planche 1, pour ne pas la compliquer. Nous recommanderons à ceux qui se serviront de cette planche pour la détermination, de séparer nettement les courbes des hémitropies normales, parallèles et des complexes, en repassant sur les traits noirs des couleurs différentes, de façon à pouvoir les distinguer plus aisément.

Légende de la planche I.

- Courbes en plein ——— avec notations entre parenthèses () = faces cristallographiques et macles par hémitropie normale.
 Courbes en traits courts - - - - - avec notation entre crochets [] = arêtes cristallographiques et macles par hémitropie parallèle.
 Courbes en traits long — — — avec notation $\frac{\perp []}{()}$ = complexes.

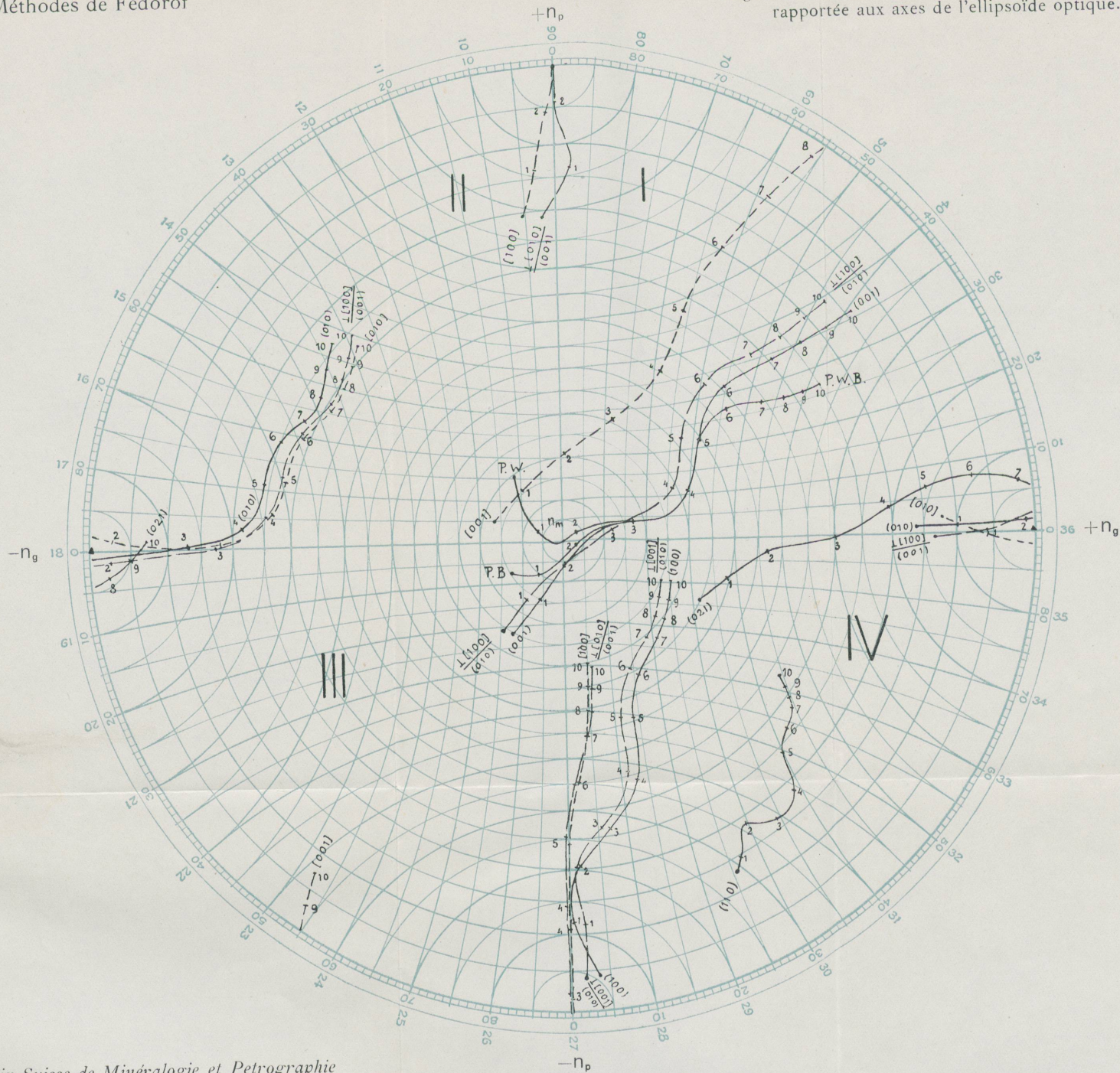
(100)	=	face h^1 = plan d'association des macles Karlsbad B et acline B.
(010)	=	face g^1 = clivage g^1 = axe et plan de macle de l'albite et plan d'association des macles Karlsbad A et Ala B.
(001)	=	face p = clivage p = axe et plan de macle de Manébach et plan d'association des macles Ala A et acline A.
(021)	=	face $i^{1/2}$ = axe et plan de macle de Bavéno.
(110)	=	face t .
PB	=	face d'association de la macle de la péricline, d'après les données de Becke.
PW	=	face d'association de la macle de la péricline, d'après les données de Wülfing.
[100]	=	arête pg^1 = axe de la macle d'Ala (A et B).
[010]	=	arête ph^1 = axes des macles acline (A et B) et péricline.
[001]	=	arête h^1g^1 = axe de la macle de Karlsbad (A et B).
$\frac{\perp [100]}{(001)}$	=	complexe Manébach + Ala A.
$\frac{\perp [010]}{(001)}$	=	complexe Manébach + acline A = macle de Scopi.
$\frac{\perp [100]}{(010)}$	=	complexe albite + Ala B.
$\frac{\perp [001]}{(010)}$	=	complexe albite + Karlsbad A.

Table de matière.

	Page
Préface	1
I. Les méthodes de Fédorof et leur technique	2
Introduction	2
Principe de la méthode	4
La platine théodolite	8
Réglage de la platine théodolite	11
Le microscope théodolite	13
Réglage du microscope théodolite	15
Marche générale d'une détermination	17
A. Cas de la platine adaptable	17
Détermination du premier plan d'élasticité	18
Recherche du deuxième plan d'élasticité	19
Recherche du troisième plan d'élasticité	19
Relevés des plans de clivage, des contours et des plans de macle	20
B. Cas du microscope théodolite	20
Correction de la réfraction	21
Reports des résultats obtenus	23
Hémisphère de Nikitine	23
A. Cas de la platine adaptable	24
B. Cas du microscope théodolite	25
Canevas de Fédorof et appareils qui l'accompagnent	26
La règle stéréographique	27
Règle pour tracer les grands cercles	27
Compas à trois pointes	27

Report a l'aide du canevas de Fédorof	29
A. Cas de la platine adaptable	29
B. Cas du microscope théodolite	31
Report à l'aide du canevas de Wulff	32
A. Cas de la platine adaptable	33
B. Cas du microscope théodolite	34
II. Application de la méthode de Fédorof à la détermination des plagioclases	34
Généralités sur les plagioclases	34
Propriétés optiques des plagioclases	38
Principes généraux de la détermination d'un plagioclase	41
Exemples pratiques	44
1 ^{er} Exemple. Macle de l'albite, par la platine théodolite	44
Report avec l'hémisphère de Nikitine	45
Report sur le canevas de Fédorof	50
2 ^e Exemple: Macle de la péricline, par la platine théodolite	54
Report à l'aide du canevas de Wulff	54
Perfectionnements et simplifications apportés aux méthodes	58
3 ^e Exemple: Macle du complexe albite-Ala B et hémitropie normale de Manébach, par le microscope théodolite	59
4 ^e Exemple: Macle simultanée de l'albite et de Karlsbad	63
Appendice	68
Données numériques des plagioclases	69
Légende de la planche I	72

Migration des principaux éléments cristallographiques
rapportée aux axes de l'ellipsoïde optique.



Leere Seite
Blank page
Page vide