

Zeitschrift: Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Herausgeber: Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Band: 52 (1918-1919)
Heft: 197

Artikel: Contribution à l'étude des macles des feldspaths au moyen de la méthode de Fedoroff
Autor: Carrasco, Elvira
Kapitel: I
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-270210>

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: 11.01.2026

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

lyse qui suivra en sera moins fastidieux et sa compréhension plus aisée, j'ose l'espérer du moins.

Je remercie très vivement mon professeur, M. Henri Sigg, de l'intérêt soutenu qu'il a pris à mon travail ; ses encouragements stimulants m'ont permis de mener à bonne fin une étude ardue et rendue lassante par la fatigue visuelle qui résulte d'une observation microscopique minutieuse telle que celle qui est à la base des méthodes optiques de détermination.

* * *

La liste bibliographique traitant du sujet à l'étude étant trop considérable pour la donner *in extenso*, je ne citerai que les ouvrages auxquels il sera fait une allusion directe, soit par citation littérale de phrases originales, soit par mention de faits particuliers. Ces œuvres seront représentées par un nombre renvoyant à la liste bibliographique ; au bas de la page, j'indiquerai seulement le volume (ou l'année) et la page de la citation. Comme appendice, je me bornerai à signaler les principales publications relatives à la méthode de Fedoroff.

PREMIÈRE PARTIE

CHAPITRE I

DES FELDSPATHS

§ 1. Définition du groupe des feldspaths.

Les feldspaths constituent l'un des éléments essentiels de la plupart des roches éruptives et métamorphiques ; on les rencontre aussi dans quelques roches sédimentaires. Par ce fait d'abord, ensuite parce qu'ils offrent un intérêt particulier au point de vue de la théorie de l'isomorphisme et des formes-limites, c'est un groupe naturel d'une très grande importance dont les propriétés physiques et chimiques sont peu différentes et varient progressivement.

§ 2. Composition chimique. — Classification.

Au point de vue chimique, on les désigne sous le terme général de polysilicates et ils peuvent être considérés plus particulièrement

comme des silicates d'aluminium, de potassium, de sodium ou de calcium, rarement alliés au baryum ou au magnésium.

On les sépare en deux catégories principales :

1° *Feldspaths monocliniques* ;

2° *Feldspaths tricliniques*.

Malgré cette différence cristallographique, l'air de famille reste très marqué entre ces deux groupes que l'on subdivise en se basant sur la composition chimique dont les variations se répercutent sur les diverses propriétés physiques.

1° *Feldspaths monocliniques*¹.

Orthose $\text{K Al Si}^3 \text{O}^8$
Hyalophane $(\text{K}^2, \text{Ba}) \text{Al}^2 \text{Si}^4 \text{O}^{12}$.

2° *Feldspaths tricliniques*.

<i>F. sodopotassiques</i>	{	Microcline	$\text{K Al Si}^3 \text{O}^8$.
(pseudo-monocliniques)		Anorthose	$(\text{Na}, \text{K}) \text{Al Si}^3 \text{O}^8$.
<i>F. calcosodiques</i> (plagioclases)	{	Albite	$\text{Na Al Si}^3 \text{O}^8$.
		Oligoclase. .	$m \text{Na Al Si}^3 \text{O}^8 + n \text{Ca Al}^2 \text{Si}^2 \text{O}^8$.
		Andésine ..	
		Labrador ..	
		Bytownite .	
		Anorthite ..	$\text{Ca Al}^2 \text{Si}^2 \text{O}^8$.

* * *

Une caractéristique intéressante des orthoses, au point de vue chimique, dit Ph. Barbier², est qu'elles renferment toujours soit du lithium, soit du rubidium, ou même les deux éléments simultanément. Elles offrent des macles variées que nous étudierons à propos des plagioclases. Différents auteurs y ont signalé des « faces vicinales » (faces cristallines) ayant des indices très élevés, entre autres : (500, 527, 0), ($\overline{110}$, 110, 1). Nous mentionnons ce dernier fait, car le sujet des faces vicinales reviendra souvent sous notre plume au cours de la dissertation.

Notre étude ayant porté plus spécialement sur les plagioclases, nous passons sans autre sur le groupe des feldspaths monocliniques, quitte à y revenir occasionnellement à propos des macles.

Disons des feldspaths sodopotassiques qu'ils ont en général des

¹ (44) p. 23. .

² (19) p. 166.

propriétés analogues à celles des feldspaths potassiques. L'anorthose, qui contient quelquefois de la chaux, est caractérisée par la présence du sodium. Ph. Barbier fait remarquer qu'à l'inverse de l'orthose, le microcline ne renferme ni lithium, ni rubidium, ou s'il en contient, c'est en quantités inappréciables même au spectroscope. Au reste, au microscope, il est aisé de différencier le microcline au quadrillage particulier présenté par la rencontre de deux systèmes de macles polysynthétiques, celui de l'albite et celui de la péricline que nous étudierons plus loin.

CHAPITRE II

DES PLAGIOCLASES EN PARTICULIER

1. Définition. — Loi de Tschermak.

Les plagioclases sont des minéraux à propriétés chimiques et physiques très voisines et variant progressivement. De leur étude et de celle des deux termes extrêmes de cette série, l'albite et l'anorthite, M. Tschermak, en 1864, conclut à l'*isomorphisme des plagioclases* et considéra les termes intermédiaires comme formés par des mélanges isomorphes en toute proportion d'albite et d'anorthite ; leur forme cristalline est intermédiaire entre celle des termes extrêmes, et leur composition chimique, de même, peut être correctement représentée par une formule de la forme :



Ab étant une molécule d'albite et An une d'anorthite.

Au reste, pour que l'isomorphisme existe il n'est pas nécessaire que les propriétés cristallographiques et optiques des cristaux mixtes soient comprises entre les propriétés des corps mélangés. M. J. Herbette¹, de même que G. Friedel² et d'autres, signalent ce fait que la syncristallisation isomorphe peut exister entre deux corps non rigoureusement identiques de forme et de volume ; ils peuvent même appartenir à des systèmes cristallins différents. Dans ces mélanges cristallins isomorphes, des portions infiniment petites des réseaux des corps composants se juxtaposeraient tout en conservant chacune, sans altération sensible, ses propriétés optiques. C'est ce qui semble résulter de l'application des formules de Mallard à des données d'expérience.

¹ (17) p. 188.

² (6) p. 182

Ainsi, dans l'idée de Tschermak, le mélange pouvant s'effectuer en toutes proportions entre l'albite et l'anorthite, les espèces intermédiaires que l'on rencontre plus fréquemment dans les plagioclases seraient moins des types nettement définis que des combinaisons plus stables, autour desquelles d'autres peuvent se grouper. La série serait par suite considérée comme rigoureusement continue et le fait d'y établir un certain nombre de coupures constituerait une division arbitraire.

* * *

Mallard¹ établit des formules relatives aux propriétés optiques des mélanges isomorphes ; il les appliqua aux plagioclases et l'observation les confirma d'une manière sinon rigoureuse, du moins satisfaisante.

D'autres minéralogistes s'intéressèrent vivement à cette théorie ; les uns l'acceptaient sans réserve, d'autres, au contraire, n'y voyaient que l'expression schématique, pour ainsi dire, du fait réel. D'importants travaux de MM. Des Cloizeaux, Max Schuster, Fouqué, Michel-Lévy, Wallerant², etc., publiés sur ce sujet, enrichirent la science minéralogique, non seulement d'arguments théoriques divers, mais aussi et surtout, il le fallait dans ce cas, de nombreuses observations contrôlant la loi de Tschermak. Parmi eux, il convient de citer tout particulièrement Fouqué³ qui, se basant sur les résultats de ses recherches sur les plagioclases des roches volcaniques d'Auvergne, proposa une autre interprétation : entre l'albite et l'anorthite existeraient quelques espèces intermédiaires à composition définie qui, en se mélangeant, formeraient des composés intermédiaires entre elles.

Par une longue série d'expériences, MM. Fouqué et Michel-Lévy⁴ obtinrent artificiellement des plagioclases intermédiaires entre l'albite et l'anorthite, soit l'oligoclase et le labrador, dont la teneur en soude et en chaux était conforme à la théorie de Tschermak ; pour d'autres mélanges de composition intermédiaire, les constantes optiques, en particulier les maxima des angles d'extinctions, ne concordaient pas avec les valeurs prévues par la théorie de l'isomorphisme des feldspaths tricliniques. D'où ces auteurs conclurent qu'entre l'albite et l'anorthite il n'y a que deux feldspaths, oligo-

¹ (23) p. 277.

² Voir les premiers bulletins de la Société française de Minéralogie et ailleurs dans la liste bibliographique.

³ (14) p. 607

⁴ (9) p. 63.

clase et labrador, à propriétés optiques constantes, si l'on se borne à considérer les microlithes.

Fedoroff¹, de son côté et par une voie théorique, arrive à des conclusions analogues ; pour lui les membres de la série des plagioclases ne représentent pas une simple série isomorphe ; on peut y séparer des types fondamentaux qui sont ² : l'albite, l'oligoclase, le labrador et l'anorthite ; ces propositions se confirmèrent par les solutions de ses nombreuses analyses qui, bien qu'elles s'étagent un peu sur toute la série, se groupent visiblement autour de certains types.

Un autre fait duquel la loi de Tschermak ne tient pas compte est la présence de potassium, parfois en proportions notables dans la plupart des plagioclases³. A cet égard, dit Miers, on peut supposer que l'orthose monoclinique s'associe isomorphiquement aux plagioclases tricliniques, ou bien, qu'étant dimorphe, le feldspath potassique présente une modification triclinique qui peut se mélanger avec les autres plagioclases. C'est ce que M. Sabot⁴ croit découvrir et expliquer en introduisant dans la discussion de l'isomorphisme des plagioclases le terme d'orthose « labile », ou orthose triclinique, opposé à celui d'orthose « stable » ou orthose monoclinique.

Que la potasse révélée dans les analyses des plagioclases appartienne à un feldspath « labile », « stable », ou... mobile, tant que des analyses microchimiques ou autres n'en auront pas déterminé avec précision le système cristallographique, on ne pourra faire au sujet de son rôle que des hypothèses qui deviendront certainement très intéressantes le jour où elles seront vérifiées.

En outre, ce qui ôte un peu de sa rigueur à la loi de Tschermak, c'est que les types albite et anorthite, représentés par Ab et An dans l'expression de cette loi, sont des types théoriques, car presque toutes les analyses d'albite révèlent des traces de potasse et, surtout, l'anorthite exempte de soude est très rare. Voici ce que nous relevons dans les analyses données par Hintze⁵ :

Sur 103 analyses d'albite aucune ne fournit la composition théorique ; 21 seulement ne contiennent pas de chaux ; sur ces 21, 8 ne révèlent pas la potasse et les autres signalent des traces de Fe, Mg, Fl, Li ou Mn.

Pour l'anorthite, 82 analyses suggèrent des remarques analogues.

¹ (29) p. 632, 638.

² (31) p. 249.

³ (29) p. 605 ; (44) p. 128 ; (42) p. 558.

⁴ (51).

⁵ (43) p. 1470 ; 1550.

Seules, 16 d'entre elles n'accusent pas de soude ; 24, pas de potasse ; on n'en compte que 13 sans soude et sans potasse, mais avec traces de Fe et de Mg. De celles qui ne contiennent pas d'alcali, aucune n'est exactement ramenée à 100 ; de même pour les analyses d'albite ne contenant pas de chaux.

A l'appui de la théorie de Tschermak, il convient d'avancer la liaison intime entre les différents termes de la série qui apparaît fréquemment dans les feldspaths zonés. Ceux-ci sont formés par la juxtaposition de bandes concentriques dont la composition chimique, révélée par les propriétés optiques, peut varier soit progressivement, permettant ainsi le passage graduel d'un terme basique, central parfois, à un terme acide périphérique, soit brusquement, mettant en contact direct une zone acide et une zone nettement basique ¹.

Ces zones successives, passant insensiblement l'une dans l'autre, d'un plagioclase basique à un autre acide, sont-elles produites par la variation graduelle du mélange isomorphe tel que le veut Tschermak ? ou bien sont-ce des microlithes submicroscopiques de plagioclases intermédiaires à composition bien définie, oligoclase et labrador, par exemple, s'associant, avec la même orientation ou maclés, de façon si intime qu'on ne puisse les distinguer au microscope ? Il est impossible avec les moyens d'investigation actuels, pourtant très perfectionnés, de lever l'incertitude sur ce point.

Citons, pour terminer, ces mots de Lacroix², qui résument bien la question :

« ... Les récents mémoires de M. Michel-Lévy³ conduisent à cette conclusion que, pratiquement, les résultats obtenus présentent, avec le calcul, un accord satisfaisant, bien que certains faits » (éclairage commun des feldspaths zonés coïncidant avec les directions d'extinction simultanée) « prouvent que, comme la plupart des lois physiques, la loi de Tschermak n'a pas une rigueur mathématique.

» Quel que soit du reste le point de vue auquel on se place, que l'on admette la continuité absolue dans la série des plagioclases ou qu'au contraire on accepte l'existence de types définis, intermédiaires entre l'albite et l'anorthite, il est nécessaire, pour la facilité des descriptions, d'établir parmi les plagioclases un certain nombre de coupures. »

¹ (18) p. 94 et suivantes.

² (44) p. 128.

³ (41).

CHAPITRE III

DES MACLES EN GÉNÉRAL.

Nous nous proposons maintenant de donner un aperçu de la théorie des macles pour introduire et discuter le sujet des macles des plagioclases.

§ 1. Définition de la macle.

Diverses théories ont été émises par des minéralogistes de valeur tels que, entre autres, Mallard, Wallerant, Friedel, Fedoroff, Viola, etc. Bien que partant de points de vue différents et concevant la matière cristalline chacun sous un aspect particulier, ces auteurs arrivent cependant à une conclusion commune : la symétrie ou la pseudo-symétrie des réseaux des individus maclés par rapport à certains éléments cristallographiques.

« Une macle, dit G. Friedel¹, est un édifice hétérogène formé de l'association de deux ou plusieurs cristaux homogènes, de même nature, orientés suivant des lois déterminées. » Pour que cette définition puisse s'appliquer aux feldspaths, nous ne devons pas comprendre le terme homogène dans un sens absolu ; car des plagioclases zonés, formés par conséquent de couches concentriques de composition parfois bien différente, se rencontrent fréquemment maclés.

Pour Wallerant², c'est un « groupement de deux cristaux symétriques par rapport à un plan, quelle que soit la surface d'accolement », et il se maintient dans la généralité de cette définition, s'opposant à la distinction que Friedel établit dans ses macles.

Celui-ci³, en effet, interprétant les idées de Mallard, pose : « Les orientations de deux cristaux maclés sont toujours symétriques l'une de l'autre par rapport à un *plan réticulaire* simple du réseau, ou tournées l'une par rapport à l'autre de $\frac{2\pi}{n}$ autour d'une *rangée* ($n = 2, 3, 4, 6$), ou symétriques par rapport à un point. » Pour préciser, il appelle « *plan de macle*, *axe de macle*, *centre de macle*, les éléments réticulaires par rapport auxquels les deux cristaux

¹ (6) p. 132 ; p. 135

² (5) p. 54.

³ (6) p. 132 ; p. 135.

sont symétriques, non seulement quant à leur réseau, mais quant à toutes leurs propriétés physiques. »

La notion de symétrie est donc à la base de la définition de la macle, et un réseau peut se déduire de l'autre aussi bien par rapport au plan de macle que par rotation de 180° autour de la normale au plan de macle, fonctionnant comme axe binaire du groupement. Cette perpendiculaire, en général, *n'est pas une rangée*, donc n'est pas axe de macle au sens défini ci-dessus. Et Friedel ajoute que c'est masquer « le rôle essentiel des éléments réticulaires dans le phénomène » que d'introduire, dans sa définition, la normale au plan de macle qui n'est en somme qu'une directive géométrique ne représentant rien de particulier dans le réseau... » « De même, dit-il, quand il existe un axe de macle, il n'y a aucun intérêt à considérer les plans par rapport auxquels les réseaux sont symétriques... lorsque ces plans ne sont pas des plans réticulaires » ; le rôle essentiel revient ici à la rangée qui est l'élément directeur.

Cette séparation des macles en deux catégories, établies également par Mallard¹, me semble répondre à l'observation des faits : dans le premier cas, le plan de macle est presque toujours droit ou très voisin de l'être. Les deux cristaux sont simplement juxtaposés suivant un plan : c'est la « *macle* » proprement dite. Dans le second cas, il est généralement gauche, donnant lieu à des pénétrations ; la symétrie paraît alors dépendre uniquement de l'axe de macle ; Mallard désigne les associations de ce genre : *groupements par pénétration*.

Étudions ces deux modes de groupements l'un après l'autre.

§ 2. Des groupements par juxtaposition ou « macles ».

Pour définir la « macle », il suffira d'indiquer la face d'association. Celle-ci doit satisfaire à certaines conditions : elle ne peut pas être un plan réticulaire quelconque². D'après Bravais³, une face quelconque du cristal peut devenir plan d'hémitropie ; mais, comme le plan d'hémitropie a existé comme face limite à une époque quelconque de la cristallisation, et comme tous les plans réticulaires n'ont pas la même chance d'être face limite, « il s'ensuit que le plan d'hémitropie sera presque toujours une face de notation simple, appartenant à une forme normale, ou à une forme parallèle, rarement à une forme oblique ».

¹ (12) p. 452.

² (5) p. 36.

³ (4) p. 132, p. 134.

Donc, un plan de macle doit avoir une grande densité réticulaire ou être parmi les plans du cristal qui ont la plus grande densité réticulaire.

Soret¹ est moins absolu. Il dit que « le plan de macle est le plus souvent une face possible du cristal » ; parfois il « est perpendiculaire à une arête possible du cristal, sans être lui-même une face possible ». Par exemple, pensons nous, lorsque la juxtaposition se fait sur une face vicinale de la face théorique, cette vicinale peut être normale à une arête possible. Il nous est arrivé de trouver des plans de macle oscillant autour du plan g^1 (010), plan de macle théorique pour la loi de l'albite, parfois perpendiculaire à l'arête ph^1 [010]. Une autre possibilité pour la surface de juxtaposition est d'être à la fois normale à une face possible et parallèle à une face possible.

Pour les macles par juxtaposition ou macles par hémitropie normale des Plagioclases que Friedel range dans les macles par pseudo-mériédrie, la continuation du réseau d'un cristal à l'autre n'est plus qu'approchée² ; de sorte que, pour que cette continuation approchée s'effectue « au moins pour les premiers nœuds voisins de la surface séparative, ce qui suffit évidemment pour déterminer la macle, en donnant naissance à l'orientation du cristal 2, il faut que la surface séparative soit plane et parallèle au plan de macle. Tel est le cas en effet chaque fois qu'il y a un plan de macle qui n'est rigoureusement normal à aucune rangée. »

§ 3. Groupements par pénétrations.

Ces macles, sur lesquelles Bravais³ attire l'attention à propos de la macle de Carlsbad de l'orthose, étaient primitivement considérées comme des hémitropies normales, d'une nature particulière.

L'axe de macle, avons-nous dit, doit être une rangée ; mais toutes les rangées ne pourront pas devenir axes de macle. Celles qui joueront ce rôle en premier lieu seront, pour des axes pairs de macle, binaires si l'on veut, les axes de pseudo-symétrie du réseau, $h^1 g^1$ [001] par exemple, chez les plagioclases. Aucun plan réticulaire ne leur est alors exactement normal, mais il y en a un qui est quasi-normal et qui est plan de pseudo-symétrie du réseau. Ou bien la rangée doit être perpendiculaire à une face d'indice simple ou

¹ (4) p. 132, p. 134.

² (6) p. 165.

³ (2) p. 264 ; (7) p. 10 ; (1) p. 347.

contenue dans l'une d'elles, il faut qu'elle soit parallèle ou normale à une arête d'indice simple, ou encore qu'elle bissecte l'angle que font entre elles ces arêtes.

Friedel¹ démontre que, dans ce cas, « la surface d'accolement pourra n'être pas plane, mais sera astreinte à passer par une droite parallèle à l'axe de macle. Ce sera dans le cas le plus général une surface cylindrique. Rien ne s'oppose d'ailleurs à ce qu'elle soit plane comme cas particulier, mais elle peut n'être pas plane, et, si elle est plane, elle peut n'être pas un plan réticulaire. »

L'orientation du second individu pouvant se déduire de celle du premier par rotation de 180° autour d'une droite contenue dans la surface de contact, ces macles sont désignées habituellement sous le nom d'« hémitropies parallèles ».

§ 4. Surface de séparation.

Dans les deux genres de groupements, hémitropies normales et parallèles, on peut remarquer que les conditions d'équilibre du cristal sont différentes lorsque celui-ci est à l'état d'embryon ou lorsqu'il est largement formé. Par suite, certaines macles, répondant à certaines conditions, pourront se produire à l'état embryonnaire ; mais dès que le cristal a acquis une certaine taille, les conditions d'équilibre ayant aussi changé, la macle ne peut plus se former. Alors, les deux individus maclés pendant la première phase continueront à s'accroître chacun de son côté, en gardant son orientation propre, mais en quelque sorte indépendamment l'un de l'autre. Dans ce cas, la surface de séparation est plane seulement dans la partie de première formation ; ailleurs elle peut être irrégulière, en sorte que la cohésion peut être aussi imparfaite que celle qui existe entre deux cristaux contigus quelconques.

Le changement des conditions d'équilibre liées à l'accroissement n'a aucune influence sur l'orientation d'autres macles qui peuvent, par suite, se former à n'importe quelle période de croissance, le nombre des individus maclés pouvant être quelconque : ces macles sont *ré-é-és* ou dites *polysynthétiques*. Exemple : macles de l'albite, de la péricline, etc.

Pour de telles macles, les deux orientations peuvent assurer également la cohésion et l'équilibre cristallins à n'importe quelle phase de croissance. Par suite « la règle relative au plan d'accolement droit se vérifie en fait, sans restriction ».

¹ (6) p. 169.

§ 5. Résumé.

En résumé donc, dans les macles par pseudo-mériédrie de Friedel, quand il y a un plan de macle, cas des hémitropies normales ou des « macles » de Mallard, la surface d'accolement est plane et parallèle au plan de macle : exactement si la macle est répétée (polysynthétique), grossièrement, en général, si la macle n'est pas répétée.

S'il y a un axe de macle, macles par hémitropie parallèle ou par pénétration, la surface d'accolement passe par cet axe, mais peut n'être pas plane, et, si elle est plane, peut n'être pas un plan réticulaire.

Comme exemple du premier cas, citons la macle de l'albite répétée; le plan de macle g^1 (010) est plan de pseudo-symétrie du réseau. L'accolement est plan et parallèle à g^1 (010).

Dans le second cas, nous pouvons citer¹ la macle de la péricline, répétée, où l'axe de macle est [010], axe pseudo-binaire du réseau. La surface d'accolement passe par l'axe, est plane ou à peu près plane, mais n'est pas un plan réticulaire. Ces deux macles sont assez semblables pour l'orientation des cristaux, mais très différentes par la position de la surface d'accolement qui est telle que l'exige la théorie.

Wallerant² n'est pas d'accord sur ce point avec Friedel et objecte que « dans bien des groupements par pénétration les cristaux sont accolés suivant des plans et symétriques par rapport à ces plans, tandis que dans la macle proprement dite, très fréquemment il y a pénétration des deux cristaux ». Nous avons vu que Friedel prévient cet argument en distinguant la formation des macles embryonnaires et celle des grands cristaux.

§ 6. Production des macles : conditions géométriques.

Et maintenant, pour que géométriquement la macle puisse se produire, il faut et il suffit³ que dans le réseau il se trouve des plans réticulaires et des rangées simples normaux ou quasi-normaux. Dans ce cas, la coïncidence du réseau du premier cristal étant presque rigoureuse au voisinage de la surface séparative, l'équilibre de macle est suffisant pour que le phénomène se produise. Il va sans dire qu'il convient de fixer une limite à l'approximation de cette nor-

¹ (6) p. 170.

² (5) p. 29.

³ (6) p. 203.

malité, limite qui ne peut se déterminer qu'expérimentalement par l'observation de la tolérance existant dans les macles. Si cette tolérance est faible, il y a aussi peu de probabilité de rencontrer une rangée très simple parmi les rangées qui sont presque normales ; aussi, « la rencontre constante de ces rangées très simples parmi les rangées quasi-normales constitue une loi remarquable ». Dans le cas de la macle de l'albite et de la péricline, cette tolérance est de 3° à 4°.

D'autres auteurs, tels que C. Viola¹, insistent sur le fait que l'important pour déterminer la macle est que les directions développées en prédominance dans les cristaux s'associent par recouvrement donnant lieu aux diverses macles. Tantôt c'est un même plan dont les éléments homologues se recouvrent parfaitement et devient commun, donc plan de macle (hémitropie normale) ; tantôt c'est une zone seule (hémitropie parallèle), ou une arête seule (macle complexe Albite-Carlsbad, par exemple).

§ 7. Relativité de la loi de macle.

! La loi de macle est-elle absolue ? Non. Lorsqu'on dit que la macle est caractérisée par une orientation déterminée des cristaux constituants, cela ne doit pas s'entendre au sens géométrique, car les mesures faites sur ces groupements apparemment parfaits, décèlent en réalité une relativité notable dans la position théorique. Par exemple, dans la macle de l'albite, Des Cloizeaux² a constaté que les faces g^1 (010) des deux cristaux, au lieu d'être parallèles, peuvent faire entre elles un angle variable qui va jusqu'à 1° 40'.

Fedoroff³ et Viola⁴ appuient de même sur cette approximation qui est souvent liée à la présence des faces vicinales⁵. Beckenkamp⁶ signale aussi des macles sur des faces vicinales.

Nous ne voulons pas dire par là que les macles sur faces d'indices simples ne soient pas la règle, bien au contraire, mais cette loi n'est pas toujours absolument respectée dans la nature, et les faces vicinales sont là pour prouver que, lorsqu'une mesure de macle ne concorde pas tout à fait avec les valeurs théoriques, il ne faut pas *a priori* attribuer ces écarts à des erreurs d'observation ou à des

¹ (37) p. 67 et suivantes.

² (3) p. 320.

³ (27) p. 390.

⁴ (36) p. 234 ; (37) p. 67.

⁵ (39) p. 110.

⁶ (28) p. 583.

impuretés, mais aussi parfois à la macle sur une face vicinale (lorsqu'il s'agit d'hémitropie normale). Nous discuterons ce point au cours de l'analyse de notre travail et signalerons en fin les conclusions auxquelles nous a conduit cette étude.

A ce propos, Friedel¹ remarque : « Ces légères variations, assez rarement aussi grandes que dans l'albite, mais souvent bien supérieures aux erreurs de mesure cependant, nous apparaissent comme tout à fait accidentelles. Nous ne pouvons songer actuellement à leur trouver une loi... mais il serait fort intéressant de mesurer l'amplitude de ces variations dans chaque cas. Ces variations accidentelles ou considérées comme telles actuellement, dépassent dès maintenant les erreurs expérimentales. Ce sera l'œuvre de l'avenir de trouver, si possible, autre chose que du hasard dans les écarts constatés entre les lois moyennes et les mesures. »

§ 8. Causes produisant les macles.

Pour provoquer la formation de la macle, différentes causes physico-chimiques peuvent intervenir, entre autres la viscosité du bain magmatique². Les particules, éléments initiaux de la cristallisation, ne pouvant tourner librement par suite de la résistance du liquide visqueux, ne pourront choisir, à l'exclusion de l'orientation de la substance déposée, que la position dont elles sont le plus voisines; si c'est l'orientation symétrique de la première, il y aura macle.

Mallard³ admet que le mélange des substances isomorphes influe aussi sur la production des groupements cristallins, de même que le refroidissement de certains minéraux chauffés à haute température.

Nous l'avons dit, pour Viola⁴ les feldspaths seraient formés par la juxtaposition de microlithes, et leurs macles prendraient naissance par association, suivant leur direction la plus développée, de microlithes ayant un habitus déterminé.

Ce qu'il faut remarquer également, c'est que les groupements sont d'autant plus fréquents que la symétrie propre des éléments composants est plus défectueuse.

D'autres macles, enfin, peuvent se former par voie mécanique,

¹ (16) p. 134.

² (45) p. 327.

³ (13) p. 59.

⁴ (37) p. 80.

comme Reusch les a réalisées dans son expérience sur la calcite. Nous pouvons signaler à ce sujet l'opinion de Fedoroff¹ qui considère la macle du péricline comme pouvant se produire par pression.

* * *

§ 9. Des faces vicinales.

Puisque nous avons fait allusion aux faces vicinales, ouvrons une courte parenthèse pour en dire quelques mots avant de passer à l'étude des macles des plagioclases.

Les faces qui se forment le plus fréquemment et avec le plus de probabilité chez les cristaux sont les faces d'indices simples ou à grande densité réticulaire. Pourtant cette condition de grande densité réticulaire n'est pas seule en jeu. Les conditions de la cristallisation influent aussi, bien que d'une façon moins marquée, sur la production des faces d'un cristal, et l'action du milieu ambiant se fait surtout sentir pour les formes secondaires. On peut en saisir l'effet en considérant les cristaux de même espèce, mais d'origine différente, chez lesquels le développement relatif des diverses formes simples est différent aussi.

Cette influence du milieu, si elle n'est pas assez notable pour masquer l'importance de la densité réticulaire, est intéressante en ce sens qu'elle fait ressortir certaines particularités de la formation des cristaux, particularités qui passeraient inaperçues si le cristal revêtait toujours la forme idéale satisfaisant à la loi des densités réticulaires.

En effet, dans ces cristallisations apparaissent des faces secondaires, d'indices plus ou moins compliqués et surtout des faces voisines de celles d'indices simples et appelées pour cette raison « *faces vicinales*² ». La présence et la fréquence de ces « vicinales » est rendue de jour en jour plus manifeste par le perfectionnement des appareils optiques ; et l'on arrive à se demander si la face d'indice simple n'est pas en réalité une résultante de faces vicinales infiniment petites et en nombre considérable que nos moyens d'investigation actuels ne nous permettent pas de déceler dans tous les cas (*Zeitschrift für Kristallographie und Mineralogie*, Band 40, S. 377). Les faces vicinales existent sur quelques individus de toutes

¹ (27) p. 393.

² (16) p. 6, 8.

les substances¹. Beckenkamp² les considère comme des plans limitant les couches de molécules déposées pour former une face importante du cristal ; leur apparition est liée à celle de la face dont elles sont voisines.

Sta-Kreutz³ les sépare en deux catégories : 1° celles qui sont dues à des troubles dans la construction intérieure du cristal, troubles provenant de l'inhomogénéité ; 2° celles des cristallisations homogènes, non troublées. Elles seraient alors des apparitions de croissance destinées à disparaître. Max Schuster⁴ de même, qui leur attribue une grande importance, n'y voit pas une anomalie mais une production, du reste superficielle, très régulière dans la formation du cristal.

Elles ne sont pas distribuées au hasard, mais de préférence autour de certaines positions des faces, appartenant à certaines zones⁵, fréquemment même⁶ ayant un indice commun.

Leurs indices sont en général très élevés ; par exemple, dans l'orthose et le microcline, on a signalé entre autres : (500, 527, 0), ($\overline{110}$, 110, 1), ($\overline{15}$, 0, 13)⁷.

Différents auteurs⁸ attribuent la production des faces vicinales aux courants de concentration qui affluent sur le cristal en formation, et ils remarquent que leur position dépend des facteurs suivants : 1° de l'intensité du courant de concentration ; 2° de la direction de ce dernier par rapport à la face considérée ; 3° de la forme de la face.

Nous avons déjà cité plus haut le fait que des macles ont été déterminées sur des faces vicinales. Fedoroff⁹, dans ses études sur les feldspaths d'après sa méthode, signale aussi le cas où, dans la macle de l'albite, le plan de macle ne coïncide pas exactement avec le plan g^1 (010). Nous-même avons remarqué ce dernier fait au cours de nos déterminations.

¹ (16) p. 15.

² (16) p. 11.

³ (39) p. 110.

⁴ (16) p. 9.

⁵ (16) p. 53.

⁶ (16) p. 8.

⁷ (43) p. 1336

⁸ (34) p. 461.

⁹ (29) p. 604.

CHAPITRE IV

MACLES DES PLAGIOCLASES

Revenons maintenant à nos plagioclases pour en étudier les macles. Celles-ci sont les mêmes que celles des orthoclases, sauf que le système triclinique des premiers permet une plus grande variété d'associations. Nous pourrions les séparer en macles par hémitropie normale et en macles par hémitropie parallèle. Il me semble plus normal de les grouper par faces d'association, en nous approchant ainsi de la classification de C. Viola¹ qui estime, nous l'avons déjà dit précédemment, que l'élément jouant le rôle important dans les groupements est celui qui est le plus développé, soit une arête, soit une zone, soit une face. Pour lui, l'« habitus » est donc en relation étroite avec le genre de macle.

L'auteur arrive à la conclusion que dans les plagioclases, il peut exister sept sortes de macles qui ont la face g^1 (010) commune, et en outre :

1° Toutes les arêtes de la face (010) sont communes : albite ;

2° La zone [001] est commune : loi de Carlsbad de 1^{re} espèce ;

3° L'arête [001] est commune ; loi de Carlsbad de 2^{me} espèce ;

4° La zone [100] est commune ;

5° L'arête [100] est commune ;

6° Les arêtes [100] et [001] se recouvrent.

7° L'arête [100] d'un individu recouvre l'arête $[00\bar{1}]$ de l'autre et, retournée, l'arête [001] de l'un recouvre l'arête $[\bar{1}00]$ de l'autre.

Les cinq premières associations sont plus vraisemblables que les deux dernières ; pourtant les lois 4, 5, 6, 7 sont plus répandues qu'on ne le croit, dit Viola ; 4 et 5 plus que 6 et 7.

§ 1. Macles ayant la face g^1 (010) commune.

1° En outre, elles ont toutes les arêtes de g^1 (010) communes.

Macle de l'albite.

C'est une des macles les plus fréquentes ; la face g^1 (010) et l'arête [001] développées en prédominance caractérisent son habitus² ; presque toujours polysynthétique. Comme nous l'avons signalé antérieurement, Des Cloizeaux³ a constaté qu'en général

¹ (36) p. 234.

² (37) p. 77.

³ (3) p. 320.

les plans g^1 (010) des deux individus ne sont pas confondus, mais font un petit angle variant de $0^\circ 40'$ à $1^\circ 40'$. Cette macle est considérée et définie presque toujours comme une hémitropie normale autour de la perpendiculaire à g^1 (010).

2° La zone [001] est commune : loi de Carlsbad de 1^{re} espèce
ou *Macle de Carlsbad proprement dite*.

Définie habituellement comme hémitropie parallèle autour de [001]. Elle est également très fréquente, souvent aussi à interpénétrations ; elle n'est pas répétée. C. Viola remarque qu'elle se produit toujours et seulement lorsqu'elle présente le même habitus que celui de l'albite. Le plan d'association est généralement g^1 (010) ou une face de la zone commune [001]¹, (h^1 (100) pour l'orthose) ; parfois perpendiculaire à g^1 (010)², ou à l'axe de macle.

3° *L'arête [001] est commune.*

Elle peut être considérée comme une hémitropie parallèle autour de la perpendiculaire à [001], dans g^1 (010) et est la macle désignée par Fedoroff sous le nom de : *complexe albite-Carlsbad*. Cette normale à [001], dit Friedel³ « n'est pas une rangée et il est bien probable que le véritable axe de macle est la rangée [201] qui, dans l'anorthite fait un angle de $0^\circ 15'$ avec la normale à [001] située dans g^1 (010), et dans l'albite $0^\circ 22'$ ». Signalée par Hintze⁴, elle a été rencontrée par Fedoroff qui en décrit quatre exemples. Il l'explique en supposant qu'une lamelle embryonnaire II liée avec I suivant l'albite, avec III suivant Carlsbad, est restée à l'état de germe de cristal entouré par la croissance rapide de I et III, sans pouvoir elle-même croître. Autrement dit, cette macle est dépendante et résultante des macles de l'albite et de Carlsbad. Nous verrons dans l'analyse de notre étude microscopique *qu'il peut se présenter des cas où elle est une macle indépendante, au même titre que les autres*.

Citons la macle du *Roc Tourné*⁵ trouvée seulement en France, dans l'albite de certains gisements et qu'on considère comme une double macle de l'albite avec interpénétrations irrégulières suivant face d'accrolement théorique voisine de h^1 (100). Puisque c'est une

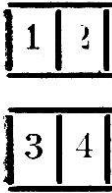
¹ (51) p. 73.

² (44) p. 26, 153, 181.

³ (6) p. 475.

⁴ (43) p. 1448, 1512, 1533.

⁵ (5) fig. 23 ; (44) p. 28.

macle à interpénétrations, on pourrait l'expliquer, il nous semble, comme formée par deux couples suivant l'albite maclés l'un par rapport à l'autre autour du complexe albite-Carlsbad ;
 ou encore comme deux macles suivant Carlsbad, 1-4, 2-3, avec plan d'accrolement presque normal à g^1 (010) ; ces deux macles étant complétées chacune par une macle de l'albite, on aurait ainsi le groupement schématique donné par Michel-Lévy dans ses *Déterminations des Feldspaths* (fig. 1, p. 21), schéma qui représenterait ici, non seulement les propriétés optiques, mais la position relative cristallographique.

4° *La zone [100] est commune.*

Peut être définie comme une hémitropie parallèle autour de l'arête pg^1 [100], et, par analogie avec le macle d'Ala qui se forme sur la face p (001) avec le même axe de rotation, nous appellerons celle-ci, par extension, *Ala sur g^1 (010)*. Elle n'est pas fréquente, et a été signalée seulement quelquefois¹.

5° *L'arête [100] est seule commune.*

Comme la macle n° 3, elle peut être expliquée par une rotation autour de la normale à [100] dans g^1 (010) : c'est la macle *complexe albite-Ala*. W.-W. Nikitin en a étudié un échantillon².

6° *Les arêtes [100] et [001] se recouvrent.*

Viola l'appelle : *Loi de Strathblauer n° I*. Peut être envisagée comme résultant d'une rotation autour d'un axe normal à a^1 ($\bar{1}01$) qui bissecte l'angle aigu des arêtes [100] et [001]³. C'est une macle rare, car il est exceptionnel de rencontrer l'habitus correspondant, Strathblauer habitus, où [100] et [001] soient également développées.

7° *L'arête [100] d'un individu recouvre l'arête [00 $\bar{1}$] de l'autre.*

Loi de Strathblauer n° II. Ici l'axe de rotation bissecte l'angle obtus des arêtes [001] et [100]. Aussi rare que la précédente.

§ 2. Macles ayant la face p (001) commune.

Et en outre :

1° *Toutes les arêtes de cette face sont communes.* Elle est désignée habituellement sous le nom de *macle de Manebach* ou de *Four-la-*

¹ (51) p. 73 ; (52) p. 370 ; (54) p. 1.

² (38) p. 300.

³ (37) p. 79.

*Brouque*¹ et rentre dans la catégorie des hémitropies normales, par rotation autour de la normale à p. (001).

2° *La zone [010] est commune.*

C'est la *macle du Péricline*, hémitropie parallèle autour de ph^1 [010], plan d'association variant dans la zone [010] avec le pour cent (%) d'anorthite; elle est polysynthétique, à fines lamelles, généralement visibles seulement au microscope; les cristaux d'albite la présentent à l'état macroscopique.

Cette macle semble liée à un habitus que Viola² appelle « habitus du Péricline », caractérisé par la prédominance de la face (001) aux dépens des autres éléments principaux; les faces (010) et (110) sont également développées et a^1 ($\bar{1}01$) se forme nettement. « Les arêtes [100] et [010] sont presque égales; la dernière est déterminée par ($\bar{1}01$) et par l'existence de nombreuses stries; elle a donc dans les unions du cristal la préférence sur les autres arêtes. La concrescence que l'on peut attendre ici est déterminée par le parallélisme de (001) et [010]. »

Pour Fedoroff³, cette macle, à l'exclusion des autres macles des plagioclases, peut se produire par pression.

3° *L'arête [010] est commune.*

Désignée par Viola⁴ sous le nom de *Loi de Scopi*. Nous l'expliquons par rotation autour de la normale à l'arête [010], dans p (001), et par suite cette macle peut s'appeler : *complexe Manebach-Péricline*⁵. Elle semble liée à l'habitus du Péricline.

4° *Zone [100] commune.*

C'est la macle d'Ala⁶ ou de l'Esterel hémitropie parallèle autour de pg^1 [100].

5° *L'arête [100] seule est commune.*

C'est une hémitropie parallèle autour de la normale à [100] contenue dans p (001); signalée à deux reprises, entre autres par W. W. Nikitin⁷. Ce serait le *complexe Ala-Manebach*.

¹ (37) p. 79; (44) p. 27.

² (37) p. 78.

³ (27) p. 393.

⁴ (32) p. 305.

⁵ (55) p. 1; (37) p. 78.

⁶ (55).

⁷ (38) p. 300; (55) p. 3.

* * *

§ 3. Macle de Baveno.

Une autre macle des Feldspaths bien connue est la

Macle de Baveno.

On a l'habitude de la considérer comme une hémitropie autour de la normale à $i\frac{1}{2}$ (021) avec plan d'association confondu avec $i\frac{1}{2}$ (021). Or, Viola¹, après une étude approfondie sur ces macles, arrive à la conclusion que la définition ci-dessus n'explique pas complètement le phénomène principal mais le masque plutôt.

Ayant nous-même, dans une de nos sections analysées, constaté les mêmes particularités que Viola sans avoir obtenu ni la face (021) ni sa normale, nous allons détailler un peu ce que cet auteur a observé.

Pour l'orthose, la macle de Baveno peut être définie p(001) sur g^1 (010)². En effet, l'étude de la surface de contact, irrégulière, parfois écailleuse, montre que par places g^1 (010) et p(001) alternent, réunis par une face à peu près à 45°. Dans l'adulaire, de même, lorsque le plan de macle présente une face se rapprochant de (021) ou (0 $\bar{2}$ 1), cette dernière est associée à des segments (001) et (010). Et l'auteur constate que cette macle est liée à un habitus déterminé qu'il nomme « habitus de Baveno³ », caractérisé en première ligne par la direction [100] fortement développée, en deuxième ligne par les faces (010) et (001) se recouvrant identiquement ou réciproquement. Après l'union des individus maclés, ceux-ci continuent à croître avec les faces de liaison p(001) et g^1 (010). Puis Viola ajoute : « ... Si cela est vrai, que les individus s'unissent toujours suivant leurs éléments prédominants, nous pouvons attendre que le recouvrement de ces éléments ne soit pas toujours absolu... comme cela se vérifie, en fait, dans les meilleures macles que nous possédons. » Nous devons remarquer que dans la macle de Baveno que nous avons étudiée, cette relativité du parallélisme de [100] et des faces p (001) et g^1 (010) était manifeste.

Cette macle n'est pas fréquente ; car, dit Viola⁴, « les principales associations des plagioclases se produisent en fait suivant le clivage (001) ou (010) ; et un parfait équilibre entre ces deux lieux, comme

¹ (37) p. 73.

² (11) p. 68 ; p. 72, 73.

³ (37) p. 68, p. 72, 73.

⁴ (37) p. 77.

c'est le cas dans l'habitus de Baveno, ne se trouve presque jamais ; de telle sorte que la macle suivant la loi de Baveno est un phénomène très rare et digne d'un musée. »

§ 4. Autres macles.

D'autres macles peuvent se produire par association de faces différentes, telle que celle que F. Gonnard¹ a observée sur l'orthose. Pour les autres groupements des plagioclases, moins fréquents, nous renvoyons à Wallerant² et à Hintze³.

Signalons pourtant encore que la méthode de Fedoroff permet de reconnaître assez facilement les nouvelles macles. L'auteur⁴ lui-même en a découvert une formée de quatre individus, maclés en croix, et tels que :

$$\text{Macle de Bogoslawsk} \left\{ \begin{array}{l} A_{1-4} = A_{2-3} \perp \text{ à } (142) \\ A_{1-2} = A_{3-4} \perp \text{ à } (32\bar{3}) \\ A_{1-3} = A_{2-4} [322] \end{array} \right\} \quad A = \text{axe de macle.}$$

* * *

§ 5. Remarques.

Il va sans dire que toutes les macles ne se produisent pas avec la même fréquence. Viola⁵, par ses considérations sur les habitus, peut conclure que la loi de Baveno est dépendante de l'habitus de Baveno, celle de Manebach de l'habitus de Baveno et de celui du péricline ; celle de l'albite aussi de deux habitus : les habitus de Carlsbad et microlithique. Par suite, la macle de Manebach se produira plus souvent que celles de Baveno et du péricline, lesquelles sont liées seulement à un habitus ; de même celle de l'albite est plus probable que celle de Carlsbad ; celle-ci et les macles du genre Carlsbad (macle Complexe-albite-Carlsbad), la macle de Scopi (Complexe-Manebach-péricline) et les autres associations sont plus problématiques.

Particularité intéressante à noter : les plus fines lamelles suivant la loi de l'albite, s'observent chez les plagioclases dont la syngonie se rapproche le plus de la syngonie monoclinique, soit entre 20 et 30% An., et cela parce que la position d'équilibre de la molécule,

¹ (11) p. 307.

² (5).

³ (43) p. 1342.

⁴ (27) p. 364.

⁵ (37) p. 79.

obtenue par rotation de 180° autour de la \perp à (010), est aussi stable que la position initiale. L'échange fréquent, mais fortuit, de ces deux orientations est par suite le plus vraisemblable pour ce membre de la série. Pour les autres macles, l'orientation de l'individu 2 est beaucoup moins stable que celle de 1 ; par suite, un accident particulier doit intervenir pour produire le phénomène de macle¹.

Les macles que nous avons citées ne se produisent pas toujours seules ; fréquemment elles s'associent et forment parfois des groupes complexes composés de cinq, sept, même neuf individus différemment orientés. Dans l'exposé de nos analyses ressortiront les groupements les plus fréquents.

§ 6. Différence de % d'An. des individus maclés.

Nous devons maintenant dire quelques mots sur la composition des individus maclés. Celle-ci² est, dans la majeure partie des cas, la même pour les deux individus ; cependant, elle présente parfois, non seulement de légères différences, mais des écarts notables que l'on peut mettre en évidence grâce surtout à la méthode de Fedoroff³, et tels que l'inégalité entre les constantes des deux individus peut être très marquée ; par exemple, changement de signe dans l'angle des axes optiques. Fedoroff a observé un cas où pour l'un des individus $2V = +82^\circ$ et pour l'autre $-86^\circ\frac{1}{2}$.

Ces généralités établies, nous allons donner en quelques pages le principe des méthodes de détermination de Michel-Lévy et de Fedoroff.

II^{me} PARTIE

MÉTHODES DE DÉTERMINATION

Les méthodes les plus pratiques pour la détermination des feldspaths sont celles de Michel-Lévy et de Fedoroff ; aussi ne mentionnerons-nous que ces dernières. Pour l'historique des autres procédés nous renvoyons à l'*Etude sur la détermination des feldspaths dans les plaques minces*, 1894, Paris ; 1^{er} fascicule, où Michel-Lévy en fait une étude descriptive et critique.

¹ (27) p. 393.

² (10) p. 233.

³ (14) p. 283 ; (29) p. 605, 626, 646, 648.