

Observations nouvelles sur les inclusions à halos pléochroïques,

par F. CORIN.

(Pl. II.)

RÉSUMÉ.

L'étude pétrographique des roches métamorphiques et éruptives belges permet d'y reconnaître nombre de halos pléochroïques et d'en distinguer plusieurs types.

(1) Le texte de cette communication sera publié ultérieurement.

L'évolution progressive de ces halos est parfois bien nette.

Les halos de la région de Libramont-Remagne sont dus à des éléments radioactifs de la famille de l'uranium, tandis que les halos des tonalites du Herzogenhügel (La Helle) et de Lammersdorf sont uniquement dus à des éléments radioactifs de la famille du thorium, à l'exclusion de celle de l'uranium. Une généralisation de cette première conclusion conduirait à des considérations intéressantes.

A côté des halos radioactifs, avec cercles bien nets, il en est, dans la roche éruptive de Grammont, qui se forment autour d'inclusions d'hématite et qui pourraient n'être que des produits d'enrichissement en fer. Une observation faite par Michel-Levy en 1889 demanderait à être revue.

Enfin, certaines modifications dans les propriétés optiques des chlorites et des amphiboles à l'intérieur des halos sont assez curieuses. Les produits finaux sont optiquement identiques : même pléochroïsme, même biréfringence, même orientation optique; il en résulte, notamment, une inversion du signe optique du clinochlore, avec zone de transition acquérant, progressivement, un caractère isotrope; cette zone est nette et brusque au terme de l'évolution; tandis que la pennine et la ripidolite ne montrent aucune inversion du signe optique : une biréfringence plus forte, sans teintes anormales de polarisation, marque, d'emblée et très nettement, les cercles d'ionisation. Une question se pose donc : celle de la nature des modifications produites par les particules alpha dans ces réseaux cristallins.

INTRODUCTION.

Les « halos pléochroïques » ou « halos radioactifs » sont bien connus de tout qui a pratiqué l'examen de coupes minces au microscope polarisant. C'est ainsi, qu'ils se présentent, presque à coup sûr, dans la biotite des granites, sous forme d'ombres brunâtres entourant les petites inclusions de zircon : ombres très faibles, parfois à peine perceptibles lorsque le mica, éclairé au moyen d'un seul nicol, est orienté de manière que sa coloration soit la plus pâle; ombre très foncée et même opaque, lorsque le mica est orienté suivant l'axe correspondant au maximum d'absorption. Les halos renforcent donc considérablement le pléochroïsme de la biotite.

Ces ombres sont parfois floues, parfois nettement circulaires et bien découpées, parfois même constituées de plusieurs cercles concentriques plus ou moins finement dessinés. Elles sont circulaires chaque fois que l'inclusion de zircon est suffisamment petite, et se résolvent en plusieurs cercles lorsque cette inclusion est pratiquement ponctuelle. Les diamètres

des cercles sont constants et s'échelonnent, tantôt jusqu'à 69 microns, plus rarement jusqu'à 83 microns (1).

Les halos pléochroïques s'observent dans des roches diverses, dans de nombreux minéraux autres que les micas, et autour d'inclusions variées. Ils sont connus depuis longtemps : Michel-Levy les a signalés dès 1882, puis en a donné une liste assez complète (1) (2), augmentée ensuite, notamment, par M. A. Lacroix (2, 3) et par O. Mugge (4). Mais leur nature et leur origine sont restées énigmatiques jusqu'à ce que Joly (5) eût montré qu'ils se développaient toujours autour de minéraux susceptibles de contenir des substances radioactives (3), et qu'ils étaient dus au bombardement par des particules alpha (particules d'hélium). Ces dernières sont projetées en grand nombre dans toutes les directions de l'espace et parcourent un trajet déterminé par leur vitesse initiale et par la résistance du milieu qu'elles traversent. Ce trajet, ou libre-parcours, étant, dans un milieu donné (air, réseau cristallin), constant pour chaque élément radioactif, l'espace sillonné par les particules émanant d'un même élément radioactif est donc une petite sphère d'un rayon égal au libre-parcours, concentrique à l'inclusion.

Si l'inclusion contient plusieurs éléments radioactifs distincts, il s'en échappe autant d'essaims de particules, douées de vitesses différentes, balayant autant de sphères emboîtées. Or, toute substance radioactive renferme plusieurs éléments dérivant l'un de l'autre par un processus bien connu de désintégration atomique. L'uranium, par exemple, se détruit progressivement en passant par une série de stades tels que l'uranium I, l'uranium II, l'ionium, le radium A, le radon, le radium B, et ainsi de suite jusqu'au radium G, qui n'est autre que du plomb. Si l'on isole un de ces produits, celui-ci se désintègre aussitôt, et la suite se rétablit, de telle manière que la proportion de chaque élément tende vers un équilibre.

L'énergie de désintégration est caractéristique pour chaque élément; elle est en rapport avec la vie moyenne de ce dernier, c'est-à-dire avec le temps nécessaire pour détruire de moitié la quantité de matière qui existe (4). Une vie moyenne courte correspond à une grande énergie de désintégration et à une grande vitesse de projection des particules alpha, et réciproquement. Le radium C', par exemple, se détruit de moitié en moins de dix secondes, tandis que l'uranium I ne se détruit de moitié qu'en plus de 4,5 milliards d'années. Une particule alpha émise par le radium C' parcourt, dans l'air, une distance de près de 7 cm., puis s'arrête, complètement freinée et perdant sa charge électrique; dans un cristal de mica, où les atomes sont plus lourds et plus condensés et, par suite, le freinage plus intense, le libre-parcours correspondant

(1) Pour autant, bien entendu, que l'inclusion se trouve dans le plan de la section, c'est-à-dire que celle-ci passe par le centre du halo; une coupe tangentielle montrerait des cercles moins grands.

(2) Les chiffres gras entre parenthèses renvoient à la bibliographie, à la fin du texte.

(3) Voir remarque à propos de la roche de Grammont.

(4) La désintégration suit une loi logarithmique asymptotique à l'axe des temps.

ne serait plus que de 34,5 microns. Pour l'uranium I, les libres-parcours seraient, dans l'air, de 2,7 cm., et dans le mica, de 13 à 14 microns. Les libres-parcours sont relativement plus grands pour les éléments de la famille du thorium : 8,6 cm. dans l'air et 42,5 microns dans le mica pour le thorium C'.

L'atmosphère entourant une inclusion radioactive est donc sillonnée par des particules provoquant l'ionisation des atomes qu'elles rencontrent; cette ionisation croît pour chaque particule depuis son point de départ jusqu'à son point d'arrêt. A la surface même de chaque sphère, elle atteint son maximum; immédiatement autour du centre d'émission, elle atteint une valeur appréciable, parce que la concentration des particules y est la plus forte; le nombre compense ici l'intensité d'ionisation. Avec le temps, l'ionisation s'accumule et devient de plus en plus forte à la surface des sphères ainsi qu'au centre, en même temps qu'elle s'étend progressivement du centre à la périphérie. Comme, d'autre part, cette ionisation se marque, dans les réseaux cristallins, par certaines modifications des propriétés optiques, on conçoit que les inclusions radioactives soient enveloppées d'un complexe de sphères ou, en coupe, de cercles concentriques, à l'intérieur desquels le pléochroïsme, par exemple, est quelque peu dénaturé, et dont le contour est particulièrement bien accusé. Immédiatement autour de l'inclusion s'étend une ombre diffuse qui, à la longue, finit par s'étendre et envahir tous les cercles.

Les halos pléochroïques sont donc, littéralement, des enregistrements photographiques de l'action des noyaux radioactifs sur les réseaux cristallins; on conçoit qu'ils puissent servir de points de départ à d'intéressantes études sur les uns et sur les autres.

Ainsi, ils permettent, en quelque sorte, l'analyse chimique de la partie radioactive des inclusions. On connaît trois séries radioactives naturelles : celle de l'uranium, dont les halos sont caractérisés par des cercles dont les rayons s'échelonnent de 34,4 à 12,5 microns, celle de l'actinium, peu différente de celle de l'uranium et, d'ailleurs, généralement associée à cette dernière, mais possédant, en propre, un cercle dont le rayon est de 27 à 28 microns; enfin, celle du thorium, avec le plus grand de tous les cercles, d'un rayon de 42,5 microns. La distinction est aisée.

Qu'on étudie de tels halos dans les roches précambriennes les plus anciennes ou dans les minéraux les plus récents, on trouve toujours des cercles de même rayon. On peu en déduire que la vitesse de désintégration n'a pas varié au cours des temps géologiques. Les physiciens considèrent d'ailleurs la radioactivité comme un chronomètre très fidèle, dont les perturbations ne peuvent être causées que par des agents d'une extrême violence, inconcevables aux températures relativement basses des formations géologiques, même d'origine ignée. Les halos confirment ces vues et montrent que la mesure de l'âge des terrains par le rapport du plomb ou de l'hélium à l'uranium ou au thorium est digne de confiance (19).

Les halos naturels se forment avec une extrême lenteur. On ne connaît pour ainsi dire aucun halo qui soit plus récent que l'ère mésozoïque. Toutefois, Sir Ernest Rutherford en a obtenu artificiellement

par l'emploi de préparations radioactives très concentrées; ils reproduisent les caractères essentiels des halos naturels (6).

Lorsqu'on peut observer les stades successifs du développement des halos pléochroïques, on voit, d'abord, une petite ombre naître au centre, puis, à très brève échéance et successivement, des cercles concentriques; la tache médiane s'étale et fonce, jusqu'à envahir complètement les cercles et les effacer; à ce moment, se produit un nouveau phénomène : le halo pâlit à partir du centre et, tandis que la décoloration gagne vers le pourtour, un nouveau cycle reprend, par une nouvelle tache centrale et par de nouveaux cercles (7). On a comparé ce phénomène rythmique à la solarisation d'une plaque photographique : l'ionisation aurait pour effet de libérer, à l'état colloïdal, certains ions de l'édifice cristallin : Ca, Na ou Fe; l'effet serait analogue à la coloration en bleu du sel gemme ou de la fluorine sous l'influence du rayonnement du radium. Mais, à la longue, ces ions floculeraient, perdant leur pouvoir colorant. L'ultramicroscope permet de suivre cette floculation. On sait aussi qu'une température élevée fait disparaître aussi bien les halos pléochroïques que les colorations anormales du sel gemme ou de la fluorine.

Dans un minéral comme la fluorine zonaire, une coloration irrégulière souligne des régions où le réseau cristallin est instable; or, le développement des halos est en rapport avec cette instabilité; on peut même observer qu'un halo, logé à la limite d'une telle région, présente des développements inégaux dans une plage colorée et dans une autre qui ne l'est pas.

Terminons cette revue sommaire en signalant que des halos pléochroïques furent observés, qui intéressaient à la fois la biotite et la chlorite résultant de l'altération de cette dernière, ce qui a permis de conclure à l'altération précoce de la biotite (4); enfin, Michel-Levy et O. Mugge ont signalé que les propriétés optiques des minéraux en sont modifiés, tantôt avec augmentation, tantôt avec diminution de la biréfringence (1, 4).

Nous avons précisé l'un de ces points par l'étude comparée du clinocllore de Remagne et de la ripidolite de Grammont (8). La seconde est, normalement, très pléochroïque dans les teintes vert vif et jaune très pâle; elle est optiquement *négative*, de biréfringence très faible, et polarise dans les teintes anormales lilas; le clinocllore est faiblement pléochroïque dans les teintes verdâtre et incolore; il est optiquement *positif* et sensiblement uniaxe; sa biréfringence est de l'ordre de 0,02 et la dispersion peu marquée; les teintes de polarisation sont presque normales.

Or, les halos montrent les mêmes propriétés optiques de part et d'autre : même pléochroïsme dans des teintes identiques brun foncé et incolore; même signe optique *négatif*, même biréfringence, atteignant 0,06, sans teintes anormales de polarisation.

Dès lors, il y a renforcement de la biréfringence de la ripidolite et il y a *inversion des propriétés optiques* du clinocllore; dans ce dernier cas, comme il se doit, la transition entre le halo et le minéral normal est marquée par un liséré isotrope, frangeant le halo. La chose est bien visible sur les figures 4, 5 et 9, planche II.

GISEMENT ET MODE D'OCCURRENCE DES HALOS ÉTUDIÉS.

La plupart des roches dont il sera question dans cette note ont été décrites et situées dans des publications antérieures (9 à 16); le lecteur s'y référera.

Les halos pléochroïques sont fréquents et même très abondants dans les roches éruptives et métamorphiques de notre pays. On peut en compter jusqu'à une quarantaine sur une surface de 1/30 de millimètre carré dans une même coupe mince du chloritoschiste de Remagne, des amphibolites de Libramont, ou des biotites de l'aplite de Morhet. Les figures 1, 2 et 3, planche II, illustrent clairement cette abondance.

1° Clinocllore de Remagne.

Dans la coupe classique du moulin de Remagne (12, fig. 6, point 8) affleurent des schistes blanc verdâtre, satinés et pailletés, essentiellement constitués d'un fin feutrage de séricite et de chlorite englobant des porphyroblastes de clinocllore. Quelques ferrites, des cristaux de zircon et de sphène et quelques aiguilles de tourmaline sont uniformément répandus, le zircon surtout, tant dans la matrice que dans les porphyroblastes.

Toutes les inclusions de zircon et peut-être aussi de sphène provoquent des halos pléochroïques bruns dans les chlorites de la pâte et dans celles des porphyroblastes; elles n'affectent nullement les micas blancs; il en résulte que les halos sont flous et peu distincts dans la matrice, mais très accusés dans les porphyroblastes. Occasionnellement, ils ont ici une forme régulière; il n'est pas très rare de les y voir formés d'un cercle très net, d'un rayon de 34,4 microns, et d'une tache circulaire, d'un rayon d'environ 16 à 20 microns. Le cercle le plus large caractérise le radium C', et la tache intérieure couvre une série de cercles correspondant au radium, à l'ionium et à l'uranium II, tous éléments d'une même famille, celle de l'uranium (pl. II, fig. 6).

L'évolution se marque d'abord par l'apparition de la tache centrale, généralement accompagnée du cercle correspondant au radium C'; la tache centrale s'étend bientôt à tout le cercle correspondant au radium C, puis l'espace annulaire compris entre les deux cercles principaux se teinte de plus en plus. Le cercle correspondant au radium s'estompe à son tour, puis, finalement, la coloration brune envahit entièrement le cercle extérieur (fig. 10 à 13).

En lumière polarisée, l'inversion des propriétés optiques du clinocllore semble être progressive, de sorte qu'elle n'est complète qu'à partir d'une certaine intensité de la coloration brune. Ce n'est, tout d'abord, qu'une auréole imprécise autour de l'inclusion; mais, bientôt, tout l'espace correspondant au cercle de radium polarise uniformément; tandis que l'espace annulaire entre les cercles correspondant au radium et au radium C' est isotrope (fig. 5). Plus tard, l'espace optiquement négatif ronge intérieurement cet anneau isotrope (fig. 9), et, finalement, lorsque la coloration est uniforme pour tout le halo, on n'aperçoit plus qu'un cercle polarisant en bloc, avec un très mince liséré isotrope. L'aspect est alors bien spécial et ressemble, en plus régulier, aux halos de la figure 4.

2° Tonalites du Herzogenhügel (La Helle) et de Lammersdorf.

On connaît ces roches depuis longtemps (9, 14, 15); leur structure est granitoïde, à grain relativement fin; le quartz, un plagioclase zonaire et le mica biotite en sont les constituants principaux. L'état de fraîcheur est variable; la biotite s'altère typiquement en une chlorite bien identifiable comme pennine, polarisant dans les teintes anormales bleu de Prusse. La transformation s'opère feuillet par feuillet, à partir des bordures du cristal de mica.

Des halos pléochroïques sont fréquents autour d'inclusions de zircon et, peut-être, d'allanite. Ils affectent, indifféremment, la biotite ou la pennine, ou les deux à la fois lorsque l'inclusion se trouve au contact des deux minéraux (5). Ils sont, par leur coloration, leur pléochroïsme et leur biréfringence, identiques à ceux du clinocllore. L'évolution s'y poursuit comme à Remagne, jusqu'au noircissement complet, comparable à celui de la figure 13. Ils présentent, toutefois, certaines particularités :

a) Noyau et cercle coloré sont plus larges, avec des rayons de 20 à 23 et de 42,5 microns. Le noyau recouvre des cercles correspondant au thorium, au thorium C et, peut-être, au thorium A et le cercle extérieur correspond au thorium C'. Le diamètre de 42,5 microns ne prête à aucune ambiguïté.

b) On n'observe aucun indice de la présence du radium ni de l'uranium; la comparaison des figures 6 et 7 est suggestive

(5) Comparez O. MUGGE (4).

à cet égard. Les roches ne sont donc pas radifères, mais exclusivement thorifères.

c) En lumière polarisée, les halos dans la pennine ne montrent aucune inversion des propriétés optiques. La pennine est, d'ailleurs, optiquement négative. A l'inverse de ce qui se passe pour le clinochlore, le noyau et le cercle extérieur se dessinent tous deux simultanément en blanc. La figure 8 représente ce phénomène; une comparaison avec les figures 5 et 9 montre nettement la distinction.

3° Amphibolites de Libramont.

Ces roches ont été écrites par divers auteurs, notamment par A. Renard (15). Elles forment des « nodules » du « métamorphisme sporadique » (9, 10); nous les avons rapportées à d'anciennes concrétions carbonatées, devenues métamorphiques (12, 18).

Ce type de nodule est caractérisé par une masse très finement quartzitique, voire pétrosiliceuse, englobant, entre autres, des porphyroblastes de grenats et des gerbes d'amphibole. Ces dernières présentent l'aspect d'un faisceau de fibres, se croisant en leur milieu et formant, à leurs extrémités, des éventails à branches courbes. Renard en a donné une représentation très fidèle; la figure 2, planche II ci-après en montre une partie.

Quelques blocs trouvés dans la ballastière de Libramont (12, fig. 2, point 5) sont noirs, très compacts; ils ont une matrice microcristalline de quartz, pigmentée par une fine poussière charbonneuse. Les gerbes d'amphibole y sont parfois intactes; d'autres fois, on n'en voit que la figure, une sorte de contour délimitant un squelette quartzeux, sans amphibole visible; d'autres fois encore, le dessin en est simplement accusé par des traînées de pigment charbonneux sur un fond de clinochlore dont les macles se poursuivent, en ligne droite, d'une fibre à l'autre de la gerbe. Dans ce dernier cas, il y a donc pseudomorphose en une chlorite qui n'a rien de commun avec l'amphibole qu'elle remplace. Il n'a pas été possible de dire si l'amphibole avait été détruite lors d'une silicification ou d'une chloritisation, ou si elle tendait seulement à se former à l'état squelettique dans les espaces intergranulaires de la roche.

Des inclusions de zircon existent dans la chlorite et dans l'amphibole; elles y sont très abondantes (pl. II, fig. 2) et y produisent des halos pléochroïques.

Les halos du clinocllore sont en tous points identiques à ceux du même minéral, à Remagne.

Les halos dans l'amphibole y ont la même teinte brune et le même pléochroïsme que dans les chlorites et, en lumière ordinaire, contrastent violemment sur le fond vert pâle, faiblement pléochroïque, de l'amphibole normale. La biréfringence y est nettement modifiée et l'orientation optique est légèrement désaxée.

On n'a observé aucun halo dont le contour soit nettement circulaire, ni aucun cercle bien défini.

4° **Aplite de Morhet.**

Cette roche a fait l'objet d'une mention (12, fig. 12, point 1) et d'une description détaillée (13). On ne la connaît qu'à l'état d'enduit, fortement contaminé par des inclusions xénolithiques (grenats et, peut-être, biotite).

Certaines biotites y montrent des halos pléochroïques concentrés à leur périphérie (fig. 3, pl. II). Elles semblent donc antérieures à la venue radioactive; peut-être ne sont-ce que des résidus d'une digestion incomplète.

5° **Tourmalinites de Remagne.**

Des blocs de tourmalinite sont épars le long de l'Ourthe, à l'Ouest de la chapelle N.-D. de Lorette, à Remagne (12, fig. 6, point 2). La roche est, par endroits, un véritable amas de tourmaline presque pure, lardé de veines de quartz.

La tourmaline est, normalement, pléochroïque dans les teintes brun clair à incolore. Autour d'inclusions de zircon se développent des halos pléochroïques en bleu verdâtre et, par suite, très tranchés, mais aucun cercle net n'a pu être observé.

6° **Roche éruptive de Grammont.**

La description de cette roche a été donnée autre part (17). La chloritisation y est intense et forme des nids d'une ripidolite cryptocristalline, polarisant dans les teintes anormales lilas. Localement, des individus plus largement développés de chlorite sont présents.

Les halos ont été décrits antérieurement (8). Aucun n'a montré de cercle bien net. D'aucuns se développent autour d'inclusions bien identifiables comme zircon; d'autres se produisent autour de cristaux non moins nets d'apatite; enfin, des ombres brunâtres, très pléochroïques et très biréfringentes, se forment autour d'inclusions noires, opaques, à bordure rougeâtre, que tout indique comme étant de l'hématite.

Peut-être ces dernières ombres ne sont-elles pas de véritables halos, d'origine radioactive, mais des centres d'enrichissement en fer de la chlorite, des zones de réactions chimiques. Elles correspondraient à un nouveau minéral produit par ces réactions. On se souviendra de la mention faite par Michel-Levy de halos autour d'inclusions d'hématite (1); mais il est prudent d'attendre que l'observation de cercles caractéristiques ait indubitablement prouvé l'intervention d'éléments radioactifs.

Aucun halo ne nous a montré de cercle net.

CONCLUSIONS.

Ainsi donc, des halos bien caractérisés font apparaître, à Libramont et à Remagne, une minéralisation en uranium, et, dans les Hautes-Fagnes, une minéralisation en thorium. Cette constatation peut avoir quelque importance au point de vue géogénique; elle suggère, d'autre part, la possibilité d'une détermination précise de l'âge du métamorphisme de Libramont et de celui de la venue éruptive des Hautes-Fagnes par la méthode du plomb. En ce qui concerne les Hautes-Fagnes, il est tout indiqué de poursuivre les recherches chimiques et pétrographiques sur les roches éruptives de Coö, Challes, Malmédy et, surtout, sur les roches granitiques et lamprophyriques de la région d'Aix-la-Chapelle (15).

La nature des modifications causées dans les réseaux cristallins par les particules alpha n'est pas moins énigmatique. Il est curieux de constater que des produits résultant de ces modifications ont des propriétés optiques identiques pour au moins trois espèces de chlorites et pour une amphibole. Schilling (7) attribue la coloration des halos dans la fluorine à la dispersion d'ions Ca. Le fait qu'une floculation fait purement et simplement disparaître les halos semblerait indiquer que les modifications du réseau cristallin seraient peu importantes; mais, dans les exemples qui viennent d'être décrits, il en est autrement, et des produits nouveaux semblent en résulter. Ces produits ont le même aspect, la même couleur, le même pléochroïsme, la même biréfringence et la même orientation optique, quel que soit le minéral dont ils proviennent. Leur biréfringence, par exemple, n'est pas la résultante d'une simple addition ou d'une simple soustraction par rapport à celle du minéral préexistant; que celui-ci ait une biréfringence positive de 0,02 (clinocllore) ou une biréfringence imperceptible, le halo a toujours la même biréfringence de 0,06.

BIBLIOGRAPHIE.

- (1) A. MICHEL-LEVY, *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 1882, t. 94, p. 1196, et 1889, t. 109, p. 973.
- (2) A. MICHEL-LEVY et A. LACROIX, *Les minéraux des roches*, Paris, 1888.
- (3) A. LACROIX, *Minéralogie de la France*, t. I, pp. 81, 314 et suiv., Paris, 1895.
- (4) O. MUGGE, *Zentralbl. f. Min.*, etc., 1907, p. 397, 1909, pp. 65, 113, 142.
- (5) J. JOLY, *Phil. Mag.*, 13, 1907, p. 183, et 19, 1910, p. 327; *Scient. Proc. of the Royal Dubl. Soc.*, 13, 1911-1913; *Phil. Transact.*, 217, 1918, p. 51; *Proc. of the Royal Soc. London*, 102, 1923, p. 694.
- (6) Sir ERNEST RUTHERFORD, JAMES CHADWICK et C. D. ELLIS, Radiations from radioactive substances (*Cambridge University Press*, 1930).
- (7) ANDREAS SCHILLING, Die radioactiven Höfe im Flussspat von Wölsendorf (*Inaug. Dissert.*, Göttingen, 1925, Schweitzbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 1926).
- (8) F. CORIN, Etude des auréoles pléochroïques de quelques chlorites (*Ann. Soc. scientif. Bruxelles*, t. L, sér. B, 1^e partie, Compte rendu des séances, p. 64, Louvain, 1930).
- (9) J. GOSSELET, *L'Ardenne*, Paris, 1888.
- (10) X. STAINIER, Sur le mode de gisement et l'origine des roches métamorphiques de la région de Bastogne (*Mém. Acad. roy. de Belg.*, Cl. des Sc., 2^e sér. in-4^o, t. I, 1907).
- (11) M. LOHEST, X. STAINIER et P. FOURMARIER, Compte rendu de la Session extraordinaire de la Société géologique, tenue à Vielsalm, à Eupen et à Bastogne en 1908 (*Ann. Soc. géol. de Belg.*, t. XXXV, 1909, pp. B 389-400, et *Bull. Soc. belge de Géol.*, t. XXI, 1908, pp. 489-500).
- (12) F. CORIN, Compte rendu de la Session extraordinaire de la Société belge de Géologie, tenue à Libramont en 1931 (*Bull. Soc. belge de Géol.*, t. XLI, pp. 339-381, et *Ann. Soc. géol. de Belg.*, t. LIV, 1932, pp. B 413-455).
- (13) F. CORIN, Les roches aplitiques de Morhet (*Ann. Soc. géol. de Belg.*, t. LV, pp. 119-121, Liège, 1932).
- (14) A. VON LASSAULX, Der Granit unter dem Cambrium des Hohen Venn (*Verh. der Naturw. Vereins. Rheinfl. u. Westfalens*, XLI Jahrg., ss. 418-430, Bonn, 1884).
- (15) A. DANNENBERG und E. HOLZAPFEL, Die Granite der Gegend von Aachen (*Jahrb. der K. Preuss. Geol. Ladesanstalt u. Bergakademie*, Berlin, 1893, Bd. XVIII; *Abhandl. von Mitarbeiter der K. Land.*, ss. 1-19).
IDEM, Trad. A. RENIER, *Ann. Soc. géol. de Belg.*, t. XXXV, pp. B 415-434, Liège, 1907, et *Bull. Soc. belge de Géol.*, t. XXII, pp. 513-530.
- (16) A. RENARD, Les roches grenatifères et amphiboliques de la région de Bastogne (*Bull. Mus. roy. Hist. nat. de Belg.*, t. I, 1882, pp. 8 et suiv.).
- (17) F. CORIN et P. RONCHESNE, La roche éruptive de Grammont (*Bull. Soc. belge de Géol.*, t. XLVIII, pp. 441-444, Bruxelles, 1938).

- (18) F. CORIN, A propos des grenats de la région de Bastogne-Libramont. Quelques caractères lithologiques de la zone de Paliseul (*Bull. Soc. belge de Géol.*, t. XLVIII, pp. 451-473, Bruxelles, 1938).
- (19) A. HOLMES, *The Age of the Earth*, London, Nelson, 1937.
- (20) G. H. HENDERSON, Some new types of pleochroic haloes (*Nature*, July 31, 1937, p. 191).

ÉTUDES ET PHOTOGRAPHIE DES HALOS.

Les halos sont des structures fines et peu contrastées. Ils sont aisément brouillés par les jeux d'ombre et de lumière qui se produisent au travers de surfaces imparfaitement polies. Aussi, Henderson (20) et Schilling (7) les ont-ils étudiés sur de minces lames de clivage, amenuisées au besoin et noyées dans des liquides d'indice élevé. Leur méthode convient pour l'étude des cercles d'ionisation et de leur développement; mais, lorsqu'on veut se rendre compte des propriétés optiques, il est indispensable d'examiner des sections d'orientation quelconque et, par suite, de se contenter de coupes minces de roches montées au baume de Canada. Le relief des minéraux devient alors fort gênant et il n'est plus possible de l'atténuer par des liquides d'indices élevés.

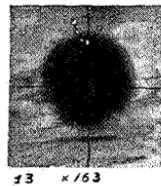
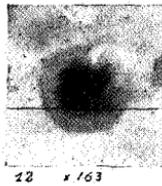
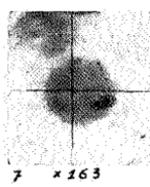
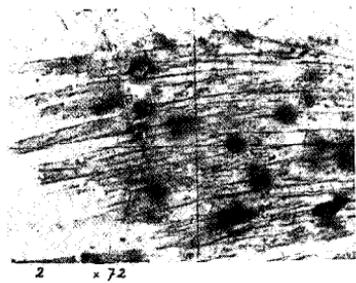
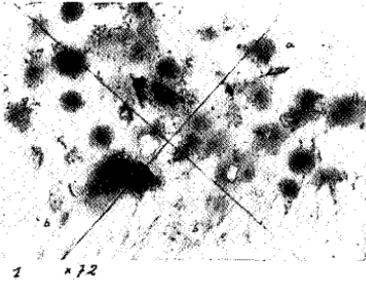
On a tourné partiellement la difficulté en éclairant les préparations au moyen d'un condensateur d'ouverture très supérieure à celle de l'objectif. L'effet d'éblouissement permet une vision relativement nette des halos, mais elle diminue les contrastes et provoque certains jeux de lumière qui deviennent gênants lorsqu'on fait des microphotographies avec une pose prolongée. Heureusement, ces jeux de lumière s'identifient aisément : ils produisent une tache lumineuse à la croisée des fils du réticule et des traînées rayonnantes de lumière.

Taches et rayons ont été effacés sur les épreuves par de légères retouches, sans déformer aucun trait essentiel des halos (fig. 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 11, 13).

On a fait usage de l'adaptateur microphotographique Miflex de Zeiss, surmonté d'une chambre Contax; comme matériel sensible, on a choisi le film Agfa Isopan FF et on l'a développé au métol-sulfite, avec traces d'alcali. Dans ces conditions, il n'a fallu accentuer le contraste que dans quelques cas; on l'a fait au moyen de filtres colorés : filtre vert-pâle de la firme Winkel-Zeiss, filtre Lifa bleu clair n° 1658/20, dit filtre pour la lumière du jour. Toutes les indications sur les filtres employés sont données dans l'explication des figures.

EXPLICATION DE LA PLANCHE II.

1. N° 6068, C.M. 2/73 S.G. — Un nicol, $\times 72$; filtre vert clair. — Porphyroblaste de clinocllore, moulin de Remagne. Noter l'abondance des halos et leurs divers degrés de développement, jusqu'au halo complet (*a*). En *b*, quelques halos mal définis dans la matrice du schiste. La muscovite (séricite) n'est pas affectée par les halos; elle ressort par son relief marqué. Des inclusions sont visibles au centre de quelques halos.
2. N° 6079, C.M. 2/131 S.G. — Un nicol, $\times 72$. — Amphibole gerbée de Libramont. Noter l'abondance des halos, dont aucun ne montre de cercle net.
3. N° 6081, C.M. 2/124 S.G. — Un nicol, $\times 72$. — Biotite de Morhet, carrière du Pery. Les halos sont concentrés à la périphérie du mica; la biotite est brun-rouge et les halos sont presque opaques.
4. N° 6072, C.M. 2/156 S.G. — Nicols croisés, $\times 163$. — Clinocllore de Remagne. La chlorite polarise faiblement dans des tons gris verdâtre; le cœur des halos polarise plus fortement dans les teintes blanc violacé; la bordure des halos est isotrope, marquant la transition entre le minéral non modifié, optiquement positif, et le minéral modifié par le halo, optiquement négatif. Les halos se développent comme des chancres.
5. N° 6067, C.M. 2/73 S.G. — Nicols croisés à 45° , $\times 163$. — Clinocllore de Remagne. Le noyau polarise en blanc, sans teinte anormale; la zone de transition, isotrope, couvre tout l'espace entre le centre très coloré du halo, délimité par le cercle correspondant au radium ($r=16$ microns), et le cercle extérieur, dont le rayon est égal à 34,4 microns, correspondant au radium C'.
Comparer les figures 5 et 6 aux figures 7 et 8.
6. N° 6066. — Le même halo, sans polariseur. Les deux cercles se dessinent nettement.
7. N° 6073, C.M. 2/18 S.G. — Analyseur seul, $\times 163$; filtre vert clair. — Pennine de la roche tonalitique de la tranchée du chemin de fer, à Lammersdorf. Le cercle intérieur, d'un rayon d'environ 20 microns, et le cercle extérieur, d'un rayon de 42,5 microns, caractérisent le thorium.
Comparer avec la figure 6.
8. N° 6074. — Même halo, entre nicols croisés, sans filtre. — Le noyau polarise fortement en blanc, tandis que la pennine polarise faiblement dans les teintes anormales, bleu de Prusse. Il n'y a pas inversion de l'orientation optique, de sorte que le cercle extérieur, ainsi que, dans une certaine mesure, l'espace annulaire polarisent comme le noyau.
Comparer avec le clinocllore, figure 5.
9. N° 6086, C.M. 2/73 S.G. — Nicols croisés, $\times 163$; filtre bleu clair. — Clinocllore de Remagne. Comparée à la figure 5, la figure 9 montre l'extension du noyau vers la périphérie.



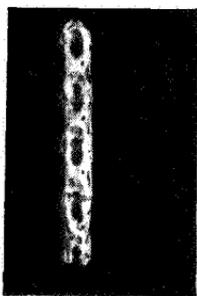


FIG. 1.

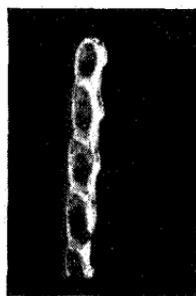


FIG. 2.

E. DARTEVELLE. — BRYOZOAIRE DU LÉDIEN.



FIG. 3 (Ech. 3/10).

J. BAUDET. — CALCAIRE A MULTIPLES DIACLASES ENTRECROISÉES

10 à 13. Nos 6085, 6069, 6083 et 6070, C.M. 2/73 S.G. — Analyseur seul, $\times 163$; filtre bleu clair pour les nos 10 et 12, filtre vert clair pour les nos 11 et 13.

Les figures 9 et 10 représentent le même halo en lumière polarisée (fig. 9) et en lumière ordinaire (fig. 10).

La suite des figures 6, 10, 11, 12 et 13 illustre le développement progressif des halos : 1° Un noyau coloré et un cercle (fig. 6); 2° Noircissement progressif de l'espace annulaire (fig. 10, 11 et 12); 3° Noircissement total jusqu'au cercle extérieur, correspondant au radium C' (fig. 13).

En lumière polarisée, ce dernier halo donnerait une image semblable, en plus régulier, à celle de la figure 4 : cercle clair entouré d'un très mince liséré isotrope. La transition entre le minéral modifié et le minéral normal est ainsi relativement brusque, alors que, pour un développement moins avancé, elle s'étale entre les deux cercles correspondant au radium et au radium C' (fig. 5).

Octobre 1941.
