

LES
OXYDES DE TITANE

ET

AUTRES PRODUITS D'ALTÉRATION

DE

QUELQUES ROCHES DU BRABANT

SUIVI DE

REMARQUES SUR LE DYNAMO-MÉTAMORPHISME

PAR

W. PRINZ (1)

Professeur à l'Université de Bruxelles.

Ce travail réunit un certain nombre d'observations relatives aux minéraux produits par l'altération de quartzites et de schistes du Brabant, ainsi que de la roche porphyrique de Quenast. J'ai accordé une attention particulière aux oxydes de titane : rutil, anatase et brookite, parce qu'ils sont, en général, abondants et qu'ils suffisent à établir le fait, sur lequel il est plusieurs fois insisté, que ces minéraux, ainsi que d'autres encore, naissent de réactions lentes, poursuivies à basse température, en dehors de toute action éruptive intense ou atténuée, en dehors aussi de l'intervention du métamorphisme dynamique.

Ces observations se rattachent donc à celles, bien connues, de Thürach, qui, dès 1884, a montré la remarquable ubiquité des oxydes de titane, du zircon, etc., en même temps qu'il démontrait l'origine des premiers par simple altération. Des constatations analogues furent faites par Stelzner, par Doss, plus récemment par H.-H. Thomas et d'autres, tant sur les produits de décomposition des schistes que sur ceux de roches cristallines.

(1) Mémoire présenté à la séance du 15 octobre 1907.

Pour la description détaillée des roches ardennaises, dont il sera incidemment question, on consultera les mémoires de Renard et celui que j'ai consacré à la déformation des matériaux des phyllades de cette région; pour les roches du Brabant, je renvoie au travail de Dewindt. Ayant fait partie du jury chargé d'examiner ce dernier mémoire, j'ai pu parcourir les préparations sur lesquelles il repose, les comparer aux miennes et acquérir la preuve du soin que le jeune lithologiste avait apporté à les décrire. Sous la direction d'un maître tel que Renard, il n'en pouvait être autrement. J'ai donc élagué de mes observations ce qui pouvait faire double emploi, mais je n'ai pas craint, toutes les fois que le sujet l'exigeait, d'entrer dans des descriptions détaillées.

Relativement aux minéraux, je n'ai développé que ce qui était utile à mon exposé, ou ce qui était nouveau; le reste est à trouver dans les travaux cités. Les mesures goniométriques sont en angles normaux. L'index bibliographique fait suite à celui qui termine mon étude sur la déformation des phyllades; les chiffres entre parenthèses renvoient à la pagination des écrits qui sont renseignés dans tous deux.

Blanmont.

Ces carrières de quartzites (notés comme cambriens sur la carte officielle; levés de MM. Mourlon et Malaise) ont des parois verticales découpées en plusieurs sens par des diaclases très apparentes. La plus grande de ces exploitations montrait, autrefois, deux intercalations schisteuses, l'une au milieu de l'exploitation, l'autre vers l'extrémité de celle-ci. Elles sont fort indistinctes aujourd'hui.

La première, épaisse de plusieurs décimètres, est constituée de schistes soyeux, jaune clair, accompagnés d'un produit d'altération onctueux, jaune-paille, faisant plus ou moins pâte avec l'eau.

Ce schiste contient, parallèlement à son feuilletage, des lentilles de quartzite, de dimensions variables, n'ayant souvent que quelques centimètres d'épaisseur, et moins encore.

Au microscope, le schiste apparaît constitué par un feutrage sériciteux, très serré, sans interposition visible de silice. L'uniformité de l'image n'est rompue que par des taches et des lignes limoniteuses, de petits prismes courts, dichroscopiques, de tourmaline, et une grande quantité de petits points noirs, grisâtres, vaguement translucides, verts. En lumière réfléchie, ils sont blancs avec éclat adamantin. Sous un grossissement plus fort, ils se résolvent en granules ou paillettes rugueuses, de 0^{mm}04 environ de diamètre, et de la moitié d'épaisseur

(fig. 1, nos 1 et 2). Rarement on trouve une paillette plus épaisse, se présentant par la tranche, montrant un biseau obtus de 136° environ, une coloration verdâtre, des extinctions droites (fig. 1, nos 3 et 4); les autres propriétés optiques sont rendues inobservables par le peu de transparence des grains et l'enrobage sériceux. La détermination plus complète de ces corpuscules établira qu'ils appartiennent à l'anatase.

La matière plus ou moins onctueuse, jaune-paille, fournie par la désagrégation du schiste et du quartzite contient des grumeaux ferrugineux, des grains de quartz salis par la limonite, des paillettes usées d'un mica altéré, rouge-brun, avec axes peu écartés, enfin, les minéraux dont l'énumération suit dans l'ordre croissant de rareté :

La tourmaline, en prismes hémimorphes, différemment colorés aux deux bouts et contenant des ponctuations diverses; ils atteignent jusque $0^{\text{mm}}5$ de long et ressemblent alors totalement à ceux qui seront décrits au paragraphe relatif à Nil-Saint-Vincent;

Le zircon, en grains roulés, rougeâtres, avec structure zonaire et inclusions habituelles;

Le rutile, dont on rencontre exceptionnellement de petites plaques réticulées fauves.

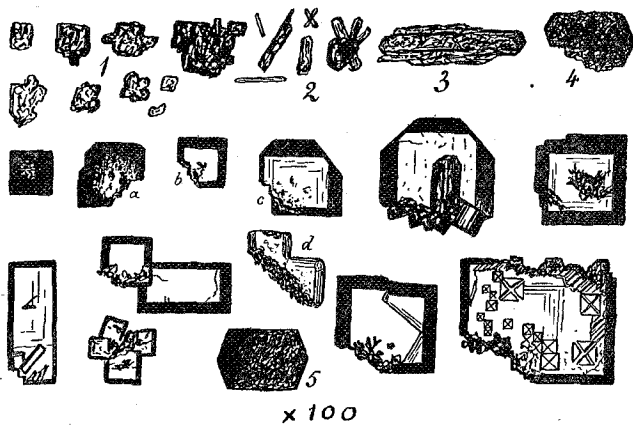


FIG. 1.

L'anatase est, au contraire, abondante. Elle ressemble totalement aux granules cristallins trouvés dans le schiste, aux parcelles duquel bien des petits cristaux adhèrent encore. Ceux-ci sont associés à un certain nombre de tablettes mieux formées, transparentes, gris verdâtre ou vert, à éclat adamantin en lumière réfléchi, bien plus grandes

(jusque $0^{\text{mm}}12$), qui ont tous les caractères d'une nouvelle génération.

Un des angles de ces petites tables manque souvent, remplacé qu'il est par une partie rugueuse indiquant un point d'attache (fig. 1 : *a*, *b*, *c*, *d*). En dehors de punctuations micacées et autres, il n'y a pas d'inclusions.

Vues de profil, ces tablettes sont assez épaisses et passent même à des bipyramides basées (fig. 1, n° 3); les extinctions sont alors droites. A plat, elles donnent une figure monoaxe négative. Bref, cette anatase est semblable à celle que Thürach a décrite et à celle qui a été signalée de divers côtés dans ces dernières années, notamment par H.-H. Thomas, qui en a publié de bonnes photographies.

J'ai dit plus haut que le schiste de Blanmont contenait des lentilles quartzzeuses. Le quartz y est en grains arrondis (jusque 3 millimètres),

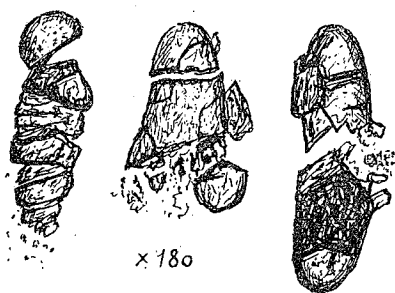


FIG. 2.

entourés d'enveloppes schisteuses contenant les éléments déjà cités. Certains grains donnent une mosaïque en lumière polarisée; les extinctions onduleuses, que l'on considère d'habitude comme étant l'indice d'une compression énergique, ne sont pas très fréquentes. La masse a cependant été comprimée, car l'orientation gé-

nérale des éléments micacés entre les grains de quartz est bien marquée. J'attribue aussi à cette cause le broiement de cristaux de zircon, à débris disjoints, qui se rencontrent parfois dans la partie schisteuse intercalaire (fig. 2).

Lorsqu'on sectionne, normalement à la schistosité, une petite lentille siliceuse (1 à 2 centimètres) formant « œil » dans le schiste, en conservant une partie de ce dernier dans la préparation, on constate que bien des grains de quartz sont traversés par des nappes d'inclusions liquides infinitésimales, à bulle mobile, nappes dont les plans, parallèles entre eux, sont moyennement normaux au feuilletage du schiste. Cette disposition est également caractéristique d'un écrasement, mais il ne faudrait pas s'exagérer son importance, tous ces phénomènes ayant à peine modifié les positions relatives des éléments ou de leurs débris.

Beaucoup de grains arrondis sont partiellement recristallisés, ainsi qu'on l'a observé pour tant de quartzites, mais ce ne sont pas, à proprement parler, des *secondary enlargements*; ces modifications se sont

produites avant l'enrobage des grains dans la masse micacée, car celle-ci épouse leurs contours. Les parties anciennes des grains composites se distinguent de la mosaïque nouvelle par l'homogénéité optique et par la quantité d'inclusions liquides, qui forment parfois un voile gris (fig. 3).

Certains grains contiennent aussi des filaments d'une extraordinaire ténuité ($\frac{1}{3}$ de μ environ) que je m'arrête à décrire, tant à cause de la constance de leur aspect dans nos roches, que du doute qui plane encore sur leur véritable nature; on les rapporte généralement au rutile. Un très fort grossissement les montre sectionnés en de nombreux bâtonnets noirs, écartés et déplacés comme l'indiquent les croquis (fig. 4). Les espaces qui séparent les tronçons sont relativement considérables; il arrive qu'on y trouve un point

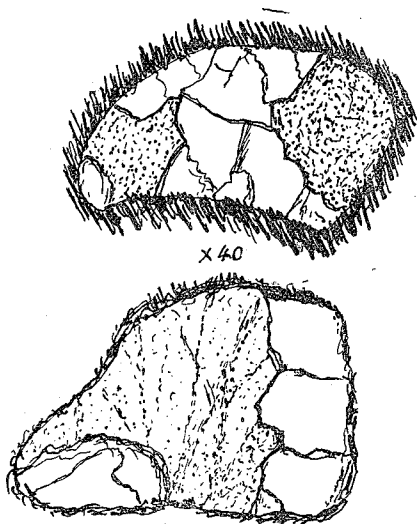


FIG. 3.

noir qui est le tronçon manquant, placé presque en bout. Les filaments interrompus se trouvent aussi bien dans les grains constitués par un seul individu de quartz, que dans les grains composés; seulement, dans ceux-ci, les filaments sont plus fortement disloqués, et la brisure la plus marquée, en forme de bâtonnette, se trouve quelquefois au joint de deux plages recristallisées. Ces coudes sont cependant tout aussi marqués chez les filaments inclus dans un grain homogène.

Ces fils appartiennent bien au rutile, comme l'apprennent les formes de passage vers des bâtonnets plus épais, jaune-brun, non dichroscopiques, à extinctions droites, également tronçonnés et articulés, ainsi que les microlithes fusiformes de ce minéral, qui leur sont associés.

Ce sectionnement, avec déplacement des débris, laisse l'impression de faibles actions mécaniques dans un milieu visqueux. Mais avant d'accepter cette explication, il faut considérer que si l'on cherchait à expliquer les coudes brusques, qui ne dépassent guère un angle de 120° , par un refoulement, il faudrait rapporter le tronçonnement à une traction. Il est plus probable que ces singuliers alignements sont des portions isolées d'un même cristal de rutile, quelque chose de compa-

nable à ces fragments séparés de paillettes d'oligiste nageant dans les cristaux de quartz du Saint-Gothard, qui, bien qu'ils soient totalement isolés les uns des autres, appartiennent pourtant à un même cristal (analogues à ceux que figure Zirkel, *Mikros. Besch.*, fig. 36 a).

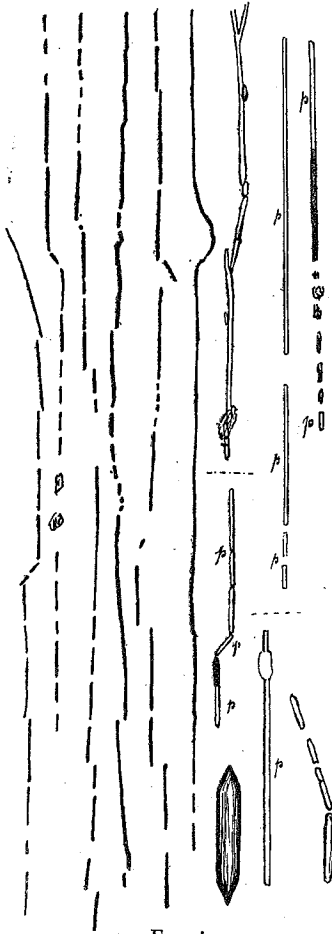


FIG. 4.

En faveur de cette interprétation, il y a lieu de mentionner les punctuations plus larges, de rutile, intercalées au milieu de certains fils, à la place des tronçons manquants, ainsi que les bâtonnets articulés, mais non séparés, mieux cristallisés, actifs en lumière polarisée (*p* sur les dessins, fig. 4), régulièrement coudés et associés aux fils tronçonnés dans une même page.

Dans quelques grains quartzeux coupés normalement à l'axe, j'ai vu un semis de bâtonnets courts, isolés, bruns, à extinctions droites, de rutile, orientés suivant les trois axes horizontaux du cristal de quartz (déjà observé par Cohen, in Zirkel *Mikros. Besch.*):

La seconde intercalation schisteuse, située à l'extrémité de la carrière, est indiquée par des produits d'altération semblables à ceux dont il vient d'être question. L'anatase s'y retrouve assez abondamment; elle est moins belle que celle du premier gisement. La plupart des petites tables carrées sont opaques, rugueuses, mal terminées et adhèrent à de minuscules débris du schiste dont elles proviennent.

Le quartzite a aussi fourni quelques-uns des éléments de ces produits d'altération, mais en bien moindre quantité qu'en d'autres affleurements de la région. Il me sera permis de remarquer à propos de ce quartzite, qu'il ne paraît pas possible de donner des descriptions pétrographiques aussi arrêtées de ces roches, que celles qu'en trace Dewindt; ces dépôts sont de composition variable, en sorte qu'il est délicat de faire ressortir les différences qu'ils présentent d'un gisement à l'autre. C'est ainsi que l'auteur précité nous dit, dans son texte, que « le ciment

micacé est en général abondant », alors que l'explication des planches renseigne : « Quartzite de Blanmont. Un de ces quartzites du Brabant caractérisés par l'absence presque complète de ciment micacé ».

Suivant le même, « les éléments accessoires, fort abondants dans cette roche, sont la tourmaline, le rutile, l'apatite, la limonite, un peu de zircon et quelques paillettes d'ilménite intacte ou altérée ». Si je m'en tenais à la préparation que j'ai sous les yeux, j'écrirais au contraire : éléments accessoires peu abondants; pas de tourmaline ni d'apatite; zircon fréquent.

Ces quartzites présentent des traces de recristallisation.

Nil-Saint-Vincent.

Quartzites faisant suite aux précédents et remarquables par les minéraux qu'on y a rencontrés. Je n'en mentionnerai que ce qui est nécessaire à la discussion de l'origine encore mal connue de ceux-ci, renvoyant pour certains détails aux travaux cités. L'état de la carrière et la description du quartz qu'on y a trouvé en superbes échantillons ont été très bien exposés par de la Vallée Poussin. C'est une esquisse d'ensemble qu'il m'importe de donner; elle sera facilitée par les observations faites à Blanmont.

J'ai tardé à utiliser les matériaux dont je disposais, parce que d'année en année j'espérais une reprise des travaux qui m'eût permis de compléter quelques points de mon étude. Il n'en a rien été, de sorte que je dois m'en tenir à mes anciens échantillons.

Le quartzite non altéré montre, au microscope, les caractères suivants qui diffèrent de ceux indiqués par d'autres : le zircon roulé est abondant; la tourmaline en bâtonnets, à centre rosé et écorce verte, l'est également. Mes coupes montrent encore d'abondantes paillettes de micas divers, froissées entre les grains de quartz; des granules schisteux arrondis; des carbonates de remplissage; donc un passage au grès. L'ilménite et l'apatite sont également reconnaissables. On sait que la roche contient aussi des sulfures métalliques : des mouches de galène, de beaux cristaux de mispickel, décrits par M. Cesàro, et de la pyrite cube-octaédrique.

Par suite de cette composition, le quartzite s'est progressivement altéré en une matière jaunâtre et a formé des masses plus ou moins cariées, pourries, dans lesquelles la silice a recristallisé, englobant les produits de décomposition. L'examen microscopique établit que ces

parties ocreuses, jaunes, sont constituées d'une mosaïque quartzeuse, parfois très fine, dans laquelle on retrouve des grains ayant appartenu au quartzite, associés à des grumeaux jaunes (en lumière réfléchie) avec des granules de zircon et de la tourmaline en houppes brisées, dont les aiguilles percent plusieurs grains d'orientation différente. D'autres particules minérales sont également disposées en files non déviées par les éléments de la mosaïque siliceuse; de semblables dispositions sont fréquentes dans les grès et quartzites recristallisés.

A d'autres places, le quartzite est creusé de poches remplies d'une matière jaune-paille, onctueuse à sec, faisant boue avec l'eau, que j'appellerai, avec mes prédécesseurs, « argile jaune ».

Enfin, j'ai détaché de la salbande du filon, ou plutôt du joint de décomposition, en un point difficilement accessible dans le fond de la carrière qui commençait à s'inonder, un fragment schisteux, dont il ne me reste actuellement qu'une seule préparation, taillée normalement au feuilletage. C'est un schiste vert brunâtre, assez cohérent, constitué, microscopiquement, d'un mica écailléux, vert, ayant la faible biréfringence et le dichroscopisme des chlorites. Parallèlement à la schistosité se voient de petits amas et de grandes sections isolées (jusque $0^{\text{mm}2}$), non froissées, d'un mica blanc jaunâtre. L'attention est ensuite attirée par un grand nombre de cristaux de tourmaline et de granules de zircon. Ces derniers sont entourés de l'auréole pléochroïque fréquente dans les roches de ce genre.

La préparation est encore ponctuée de corpuscules opaques, déchiquetés, plats, plus serrés dans certaines strates. Je n'ai pu les isoler; leur détermination précise reste à faire. Certains se montrent un peu translucides, avec réfringence élevée. En lumière réfléchie, on constate que les uns sont gris bleuâtre, les autres gris jaunâtre; tous sont à éclat adamantin et leurs dimensions n'excèdent guère $0^{\text{mm}1}$ de large sur quelques centièmes de millimètre d'épaisseur. Par comparaison avec les autres roches de la région, ces granules me semblent appartenir à l'anatase.

La silice n'est visible qu'en quelques points isolés.

L'argile jaune est constituée des éléments résultant de l'altération de ces roches et de ceux, tels que le zircon et la tourmaline, qui y ont résisté. Renard a donné une analyse du mica décomposé dont elle est surtout formée; mais à côté des paillettes microscopiques, incolores, hexagonales, signalées par ce savant, on trouve des débris de rosettes et des crosses de chlorite, ainsi que de grandes pellicules (2 à 3 millimètres) usées, d'un mica du premier genre, avec 2 E environ 50°,

négatif, et $\rho < \nu$, donc de la muscovite. Cette dernière contient des inclusions de zircon et de tourmaline, ainsi qu'un semis de microlithes de rutile provenant de la décomposition du mica.

Dans cette masse, des minéraux se sont régénérés (quartz, tourmaline, rutile, apatite, chlorite, dolomie, pyrite); d'autres se sont formés (anatase, brookite, monazite, xénotime). Je vais les passer en revue, en m'arrêtant plus longuement à ceux dont l'étude n'a pas encore été faite et en commençant par le quartz. Ce minéral nous permet, en effet, de suivre la marche de l'altération du quartzite, ainsi que les phases du développement des composés nouveaux issus de cette transformation; il nous a même conservé, par inclusion, des minéraux qui ont disparu dans l'argile jaune (dolomie, pyrite).

Quartz. — Le quartzite fut soumis à l'altération, a-t-il été dit au paragraphe précédent. Les grains de quartz ont été libérés, dissous, abandonnant la matière intercalaire sous forme d'une sorte d'éponge très finement celluleuse, ocreuse, constituée surtout de parcelles mica-cées, de tourmaline et de zircon, dans laquelle la silice a recristallisé en grains dont les limites diffèrent de celles des mailles de la masse argileuse. En certains points, le tissu plus lâche permettait le développement d'un agglomérat d'ébauches de cristaux de quartz de quelques millimètres, mélangés à des parties terreuses non silicifiées. Ailleurs, la masse décomposée, perméable, était disloquée en mottes de volume variable, par des crevasses grandes et petites, de sorte que les cristaux qui s'y développaient prenaient racine dans l'amas spongieux jaune, restaient limpides dans la partie où ils franchissaient une fissure, puis se terminaient au delà de cette dernière en se chargeant de nouveau de matière argileuse.

Ces cristaux, vus isolément, présentent un aspect assez inexplicable au premier abord. Dans celui représenté figure 5, en section longitudinale, on aperçoit les brisures de la masse jaune. Le microscope y laisse reconnaître la disposition cellulaire de celle-ci; ses mailles sont constituées par les minéraux déjà plusieurs fois cités, accompagnés de bulles gazeuses ovoïdes, qu'on pourrait confondre avec du zircon roulé, alors que les grains de ce minéral sont plus clairsemés. On y voit encore une belle coupe d'une grande anatase; une section de monazite à peine recouverte de silice; enfin, des associations rayonnantes d'aiguilles de

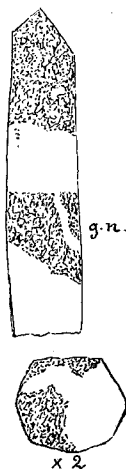


FIG. 5.

rutile d'une délicatesse extrême, et d'autres, un peu plus robustes, de tourmaline. Au point de vue optique, ce cristal est parfaitement normal. La section horizontale, figurée au bas du même dessin, est celle d'un autre individu qui donne également une figure axiale sans aucun trouble et montre la limite irrégulière de la substance jaune.

Parfois des prismes volumineux venaient buter contre des saillies argileuses relativement petites, mais imperméables à la solution siliceuse, alors le cristal entourait le corps étranger et le pointement s'achevait tant bien que mal, sans toutefois pouvoir terminer celles de ses faces en contact avec l'obstacle. Lorsqu'on écarte, par un jet de lavage, la masse jaune partiellement enchâssée dans ces cristaux, elle y abandonne des cavités irrégulières, profondes, que l'on a parfois attribuées à une corrosion.

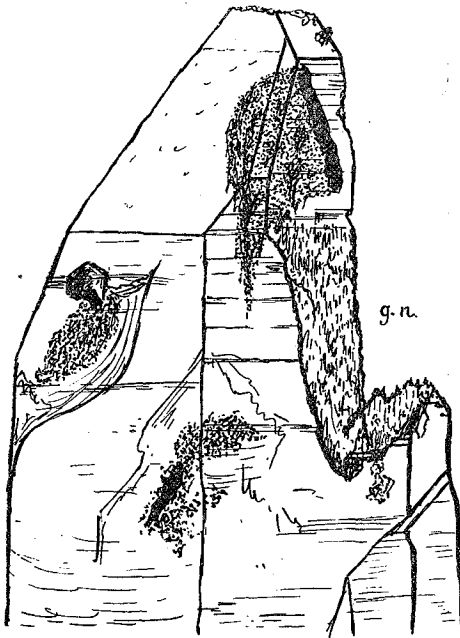


FIG. 6.

Le croquis ci-contre donne l'aspect, en grandeur naturelle, d'un de ces quartz « corrodés », contenant, près du sommet, une cavité (pointillée) dont l'ouverture (en noir) débouche sur une large encoche, partiellement guérie et couverte, pour le reste, de rugosités cristallines à orientation commune. Sur cette surface rugueuse sont fixés de petits cristaux d'anatase. La cavité et l'encoche furent produites par l'inclusion incomplète de la matière jaune. A gauche, une autre inclusion argileuse existe près de la cavité d'insertion d'un petit prisme; une large fêlure en

écaille l'entoure. Vers le milieu, une troisième cavité a également provoqué une fêlure injectée de limonite. J'ai vu un de ces cristaux, gros comme le poing, presque rempli par un bouchon argileux, dont l'enlèvement transforma l'échantillon en une sorte de gobelet plat, à six pans, creusé d'une large cavité irrégulière et raboteuse.

Les concentrations de la silice, au détriment du quartzite, ont con-

tinué, à Nil, pendant tout le temps que se constituèrent les autres espèces minérales, car le quartz cristallisé les englobe presque toutes. Il forme des groupes volumineux de prismes ébauchés, des plaques hérissées de pointements qui se détachaient des parois décomposées, se brisaient en tombant dans l'argile jaune, puis se réparaient, tantôt par des ajoutes de silice plus pure conservant l'orientation des fragments, tantôt par des tronçons de prismes opaques, mal terminés, déviés, ou incomplètement soudés. Ainsi naquirent ces curieux groupements sur lesquels de la Vallée Poussin a écrit d'excellentes pages.

L'argile contient aussi de nombreux microlithes de quartz, n'ayant que quelques centièmes de millimètre de longueur, qui échappent à l'observation en lumière ordinaire; ils sont faciles à reconnaître en lumière polarisée. La plupart sont isolés, bipyramidés, ou maclés suivant la loi habituelle; quelques-uns enclavent des punctuations micacées, d'autres enchâssent d'infinitésimales aiguilles de tourmaline.

Parmi les pierrailles extraites de l'argile par lavage se trouvent des débris informes, troubles, jaunâtres, que l'examen optique démontre être des individus simples de quartz, à structure scoriacée, par suite d'intercalations argileuses enlevées par l'eau. En lame mince, ce quartz est d'ordinaire criblé d'inclusions liquides. Les caries, que traversent des aiguilles de tourmaline, sont bordées de liserés jaunes constitués par des particules argileuses (micacées) imprégnées de silice.

D'autres fragments possèdent des indications de faces. J'en figure un que j'ai taillé normalement à l'axe ainsi que normalement à une succession de nappes onduleuses d'argile jaune, d'un tiers de millimètre d'épaisseur environ, séparées par des espaces limpides d'un millimètre. A voir la façon brusque dont ces lames se terminent au sein du cristal, à environ deux millimètres du bord de la section, sans pénétrer dans la zone limpide qui la limite partiellement, il semble que cette écorce

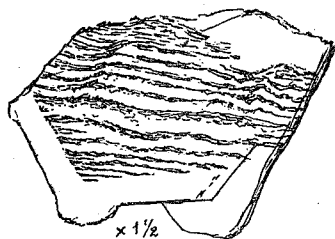


FIG. 7.

soit surajoutée. Les lames argileuses marquent vraisemblablement les progrès successifs de l'altération d'un débris de quartzite; peut-être sont-elles les feuilletts d'une plaquette schisteuse. On peut supposer que ce fragment s'est partiellement imprégné de quartz et qu'il s'est complété ensuite par une enveloppe transparente. Au microscope, la plaque laisse reconnaître des essais d'inclusions liquides qui ne

s'étendent pas toujours au delà des nappes argileuses. Entre nicols croisés, toute la section, assez épaisse, est zébrée de lignes neutres, qui ne se continuent pas nettement entre les bandes jaunes. En lumière convergente, pour autant qu'on puisse voir, les parties voisines des lames incluses sont simples, tandis que les intervalles montrent les spires d'Airy.

Zircon. — Les granules rouges de ce minéral, que je signalais en 1881 dans l'argile jaune, sont bien ceux que l'on voit en place dans le quartzite et dans le schiste. Les plus petits seuls présentent encore des formes cristallines; les autres ont toutes les apparences d'un minéral roulé et dépoli. Leurs propriétés optiques ne présentent rien de particulier; l'obliquité

des extinctions dont parle Renard n'est qu'apparente et dépend de l'irrégularité de contour des grains.

Certains granules libres sont brisés en plusieurs fragments, encore soudés, quoique déplacés, accident qui ne se sera vraisemblablement pas produit dans le schiste, mais qu'on observe dans le quartzite de Nil-Saint-Vincent comme dans celui de Blanmont (fig. 8).

Le zircon joue le rôle d'élément primaire par rapport à la tourmaline, ainsi que je l'ai constaté toutes les fois que ces deux minéraux sont associés dans des conditions analogues (Opprebas). A Nil-Saint-Vincent, on trouve des granules du second inclus dans les bâtonnets du premier, tant dans les tourmalines de l'argile jaune, que dans celles que contient le schiste et qu'il montre en coupes plus ou moins obliques (fig. 9). L'état frais, la fragilité de la tourmaline, rendent inadmissible l'hypothèse d'un transport; elle s'est formée sur place, dans

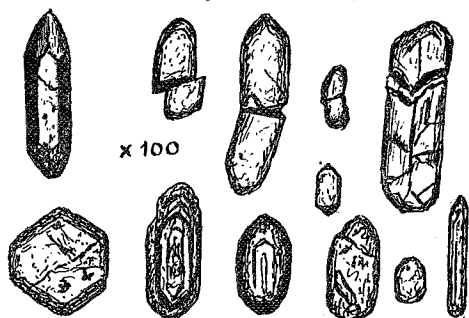


FIG. 8.

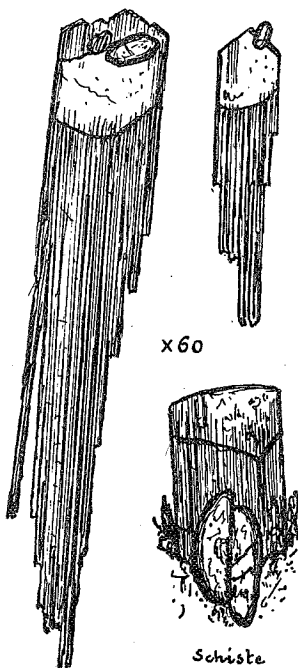


FIG. 9.

les boues et les sables dont sortirent les schistes et les quartzites, englobant les grains de zircon qui portent, au contraire, des marques évidentes de charriage.

La formation secondaire du zircon, dont j'avais entrevu la possibilité dans mon travail sur la monazite et le xénotime (p. 520), ne s'est pas confirmée.

Tourmaline. — Elle n'a pas été décrite, que je sache, et fut parfois confondue avec d'autres minéraux (épidote, rutile). Ce sont de petites aiguilles ayant jusque 4 et 5 millimètres de long, alors très fines, ne dépassant pas 0^{mm}2 ou 0^{mm}3 d'épaisseur. Les plus gros cristaux, qui ont jusque 2 millimètres de diamètre, sont, au contraire, presque aussi

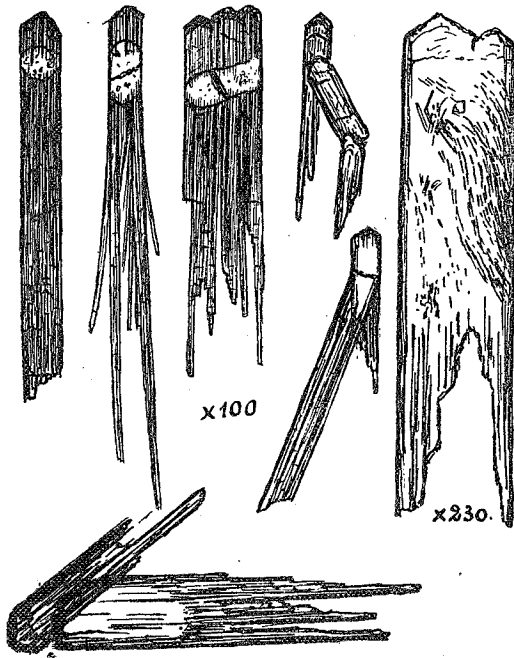


FIG. 10.

larges que longs. Tous sont nettement hémimorphes, caractère qui se manifeste par une terminaison rhomboédrique à une extrémité, et une brosse, à fibres peu divergentes, à l'autre (fig. 10). Les faces terminales appartiennent aux formes communes, ainsi que l'établissent les mesures. Un cristal a donné (moyenne de plusieurs pointés) :

$$\begin{array}{l} e^t e^t (02\bar{2}1) : (2\bar{2}01) = 77^\circ 6' \quad \text{Calculé : } 77^\circ 0' \\ e^t p (02\bar{2}1) : (10\bar{1}1) = 38^\circ 28' \quad \quad \quad 38^\circ 30' \end{array}$$

La plupart de ces aiguilles ont, près de l'extrémité terminée, un noyau plus clair; les cannelures du prisme s'atténuent dans cette partie, comme l'indiquent les croquis. Les teintes (polariseur enlevé) sont assez difficiles à fixer : habituellement le noyau est vert clair, vert-rose et moins pléochroïque; les autres parties sont violacées, sépia-rose, avec prédominance de la dernière teinte lorsque le bâtonnet est mince. Des débris isolés, entamés par le polissage dans la préparation du schiste décrit antérieurement, montrent une coloration violet-mauve (aubergine) intense. Les inclusions solides indéterminables, consistant en particules noires et en granules clairs, réfringents, polarisant vivement, sont d'ordinaire concentrées dans le noyau. Rarement on trouve des inclusions liquides. Parfois on reconnaît des agglomérations de microlithes de rutile dans le noyau; une fois ils étaient disposés en traînées imitant la structure fluidale (voir fig. 10).

Fréquemment ces petits prismes sont associés, à deux, sous un angle très ouvert (voisin de 150°); l'accolement se faisant toujours près du noyau, ce n'est pas un tronçonnement accidentel suivi de guérissage (voir fig. 10).

En concassant ces petits cristaux, on obtient, par suite de la tendance du minéral à se briser normalement à l'axe, des cassures transversales permettant de reconnaître des indices de structure zonaire (rose-vert au centre; écorce vert d'herbe) et les faibles anomalies optiques si fréquentes dans la tourmaline.

La nature différente du noyau se met en évidence par l'action prolongée de l'acide fluorhydrique chaud sur les petites aiguilles. La gaine striée en long, qui l'enveloppait incomplètement, disparaît, l'extrémité en brosse se dissout, la terminaison rhomboédrique s'entame fortement, et la corrosion se propageant sur la surface de jonction entre le noyau et le reste du bâtonnet, ce dernier tend à s'isoler tout à fait (fig. 11).

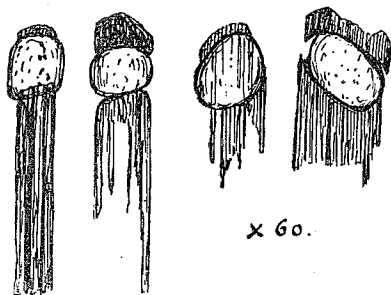


FIG. 11.

La tourmaline se trouve encore à Nil sous des aspects qui ne permettent pas d'admettre qu'elle provient toujours simplement du quartzite et du schiste décomposés. Ce sont des aiguilles d'une ténuité telle qu'on ne peut supposer leur transport. Une régénération de la tourmaline est surtout évidente par la façon dont de fines aiguilles se

surajoutent à des débris de prismes pour constituer de fragiles groupements, qui n'ont été conservés que grâce à leur enrobage dans du quartz au moment de leur naissance. On les retrouve aussi dans le quartzite recristallisé, où les aiguilles divergentes d'une même houppes traversent plusieurs grains siliceux d'orientation différente (fig. 12).

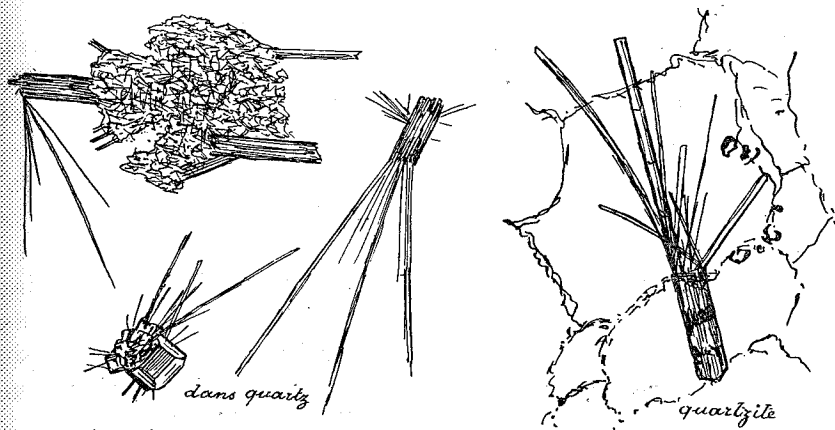


FIG. 12.

La preuve que le minéral qui nous occupe a continué à s'élaborer, quoique dans des proportions réduites, pendant le temps que dura la formation du quartz, est la présence d'aiguilles isolées, de tourmaline, d'un centimètre de long, dans les dernières couches d'accroissement des quartz guéris et même sur la surface de ceux-ci.

Anatase. — Ce minéral, signalé par M. L.-L. De Koninck, est abondant à Nil sous forme de petites bipyramides à striations et cannelures marquées, à éclat métallique et coloration bleu ou bleu-vert par transparence. Elles atteignent 2 millimètres de long. Les combinaisons {111}, {117}, {101}, {107} sont très rares; M. Cesàro a observé, en outre {337}. Rosenbusch signale encore {5.5.11} et j'y ai trouvé souvent la forme nouvelle {449} décrite dans une note spéciale. Quelques individus tabulaires sont exceptionnels; ils montrent la figure axiale négative, parfois avec dislocation marquée.

L'anatase se rencontre encore en granules cristallins à tous les états de développement, depuis les ébauches microscopiques, jusqu'aux cristaux plus volumineux fixés sur les grands quartz brisés ou englobés dans les dernières couches d'accroissement de ceux-ci. On la trouve aussi en grains ovoïdes, opaques, gris, à surface granuleuse avec indications de pointements, qui agglutinent des aiguilles de tourmaline

dépassant de tous côtés. L'accolement se fait de préférence à l'extrémité en brosse.

L'association avec la monazite, le xénotime et de très petits prismes de quartz s'observent également.

La formation de l'anatase s'est continuée aussi longtemps que celle du quartz.

Rutile. — L'oxyde de titane, sous cette forme, est également très fréquent dans ce gisement. Les pages précédentes le signalent déjà dans les paillettes de mica décomposé et dans l'argile jaune englobée par les prismes de quartz. L'argile jaune le contient sous forme de bâtonnets groupés en V, en K, soudés à de plus gros faisceaux d'aiguilles parallèles, translucides, jaune-brun au milieu, opaques aux deux bouts, fauves en lumière réfléchie (fig. 13).

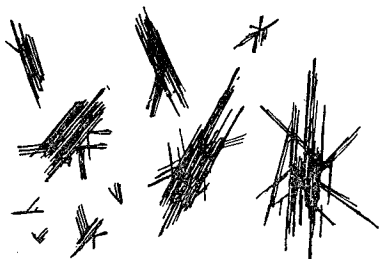


FIG. 13.

Enfin, le rutile constitue les enduits de sagénite dont il sera question dans un des paragraphes suivants.

Brookite. — Elle n'a pas encore été signalée en Belgique. L'oxyde de titane rhombique est d'ailleurs le plus rare des trois, et certains auteurs, se basant sur le fait qu'ils naissent à des températures différentes dans le laboratoire, veulent que la présence de la brookite exclue celle des deux autres et vice versa. Cette règle ne saurait être absolue, les conditions de genèse de ces minéraux n'étant pas celles des synthèses réalisées artificiellement.

La brookite n'accompagne pourtant pas volontiers les deux autres formes de TiO_2 , en sorte qu'on pouvait prévoir qu'elle serait rare à Nil. Je n'en ai, en effet, trouvé que des cristaux isolés, ayant cependant jusque un demi-millimètre de longueur, transparents, rougeâtres, à éclat adamantin, caractérisés par leur striation verticale et surtout par la dispersion si particulière propre au minéral. Celle-ci s'observe facilement sur ces paillettes cristallines, habituellement aplaties suivant (100). Leurs vives couleurs en lumière polarisée, le bleu intense qu'elles présentent, les signalent à l'attention et empêchent de les confondre avec l'anatase. Les plus petites étant les mieux formées, j'en figure deux sous un grossissement assez fort (fig. 14 et 15).

Le premier cristal est fixé obliquement sur un petit quartz libre dans l'argile jaune, sur la même face où se trouve collée une monazite tabu-

laire. En lumière réfléchi, on reconnaît la zone prismatique fortement cannelée et arrondie avec une large troncature $e^{1/2}$ (011), la base p (001) et une facette qui est peut-être a^1 (102).

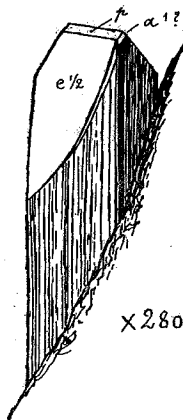


FIG. 14.

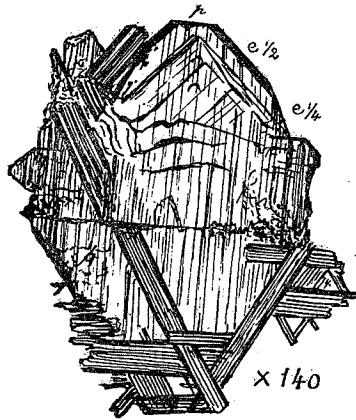


FIG. 15.

Le deuxième, libre celui-ci, montre bien la figure axiale (2 E na = 30° environ). J'ai mesuré :

$$(001) : (011) = 43^\circ \text{ env.}$$

$$(001) : (021) = 62^\circ 14'$$

$$p e^{1/2} = 43^\circ 22' \text{ Des Cloiseaux.}$$

$$p e^{1/4} = 62^\circ 6' \quad \text{—}$$

Un éclairage approprié fait encore apparaître une fine troncature le long de (011), indiquant la forme (122), si fréquente chez la brookite.

Ce cristal est, en outre, encadré et pénétré de rutile (sagénite), ce qui indique une association plutôt qu'une paramorphose, le rutile ayant simplement servi de support, sur lequel la brookite s'est développée en s'orientant plus ou moins. L'angle p (001) : $e^{1/4}$ (021) = 62° 6' est voisin de ceux de 57° à 60° qu'affectent les groupements de sagénite, de sorte que si la brookite croît avec $e^{1/4}$ parallèlement à une des lignes du réseau de rutile, d'autres aiguilles seront parallèles à p et normales aux stries, les troisièmes recouperont ces stries sous un angle de 30°. Le parallélisme entre les faces des deux minéraux n'est pas rigoureux; il ne l'est d'ailleurs pas davantage entre les aiguilles de rutile, ainsi que le dit le paragraphe suivant, consacré à des groupements analogues.

Associations d'anatase, de rutile et de brookite. — Le rutile, sous forme de sagénite, s'est particulièrement développé dans certaines accumulations chloriteuses compactes, contenant de l'apatite ainsi que

des débris et de petits prismes de quartz. Ce sont des enduits, de plusieurs centimètres carrés de surface, remplissant les fissures de la chlorite et du quartz; ils recouvrent aussi les petits cristaux de ce dernier.

Les lamelles jaunes, soyeuses, avec taches noires, ocreuses (ilménite en voie de transformation?), à tissu serré, de quelques dixièmes de millimètre d'épaisseur, sont composées de fibres croisées sous les angles de maclé du rutile ($65^{\circ} 35'$ et $114^{\circ} 25'$). Toutefois, on n'observe guère que des valeurs voisines de 60° ou 120° et l'on constate que les angles de $57^{\circ} 12' \frac{1}{2}$ (moitié de $114^{\circ} 25'$) et de $65^{\circ} 35'$ ne se maintiennent que sur de petits espaces.

Cette sagénite contient d'habitude, dans son épaisseur, de fines pellicules transparentes, bleu-vert pâle, à éclat adamantin, rugueuses, striées, d'anatase, qu'on sait libérer en écrasant un peu les échantillons. Les contours cristallographiques de l'anatase sont plus ou moins visibles et le rutile les souligne, ou les recoupe, ainsi que le montrent les croquis; ceux-ci sont pris sur des lamelles de sagénite écrasées (fig. 16).

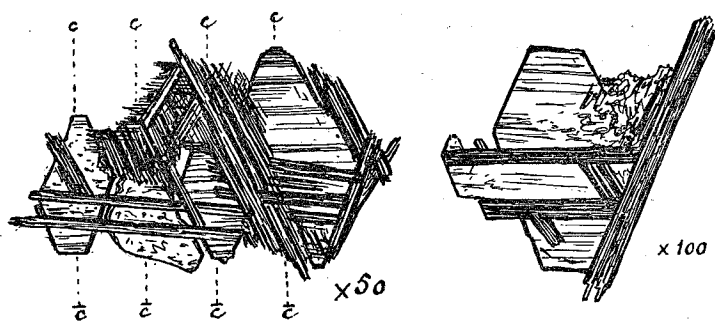


FIG. 16.

Dans ces groupements, l'une des directions du réseau de sagénite est parallèle à une face de pyramide de l'anatase, et celle-ci est complètement aplatie suivant un plan parallèle à (110). Certaines de ces lamelles (jusque deux millimètres) se perdent en lambeaux irréguliers dans le feutrage de sagénite; d'autres, plus petites, s'associent à plusieurs, avec les axes principaux parallèles, au milieu des fibres de rutile.

L'obliquité d'une des directions des aiguilles de sagénite sur les stries de l'anatase n'est pas toujours sensible, de sorte que la direction d'extinction en long du deuxième minéral bissecte un des angles du réseau du premier. Cette condition se trouve également réalisée pour la sagénite qui couvre les petits prismes de quartz.

On observe aussi un peu de brookite dans ces préparations de sagénite; elle est semblable à celle dont la description a été donnée au paragraphe précédent.

Un deuxième mode de groupement rutile-anatase se met en évidence sur les cristaux libres, bien développés, d'anatase, que l'on extrait de l'argile jaune. Ceux-ci sont partiellement recouverts et pénétrés de bâtonnets opaques, soyeux, de rutile rouge vif, dont la position relativement aux stries de l'anatase est facile à observer. Ici, une des directions du réseau est normale aux stries et parallèle à l'extinction en long de l'anatase (fig. 17). Les mailles s'étendent sur un plan fortement cannelé produit par l'aplatissement de l'anatase suivant (110). Dans un autre spécimen, le réseau était en grande partie inclus; son plan semblait être parallèle à une face de pyramide (111) de l'anatase, disposition qui rappelle celle des « captivos » du Brésil, décrits par divers auteurs et discutés par M. Mugge.

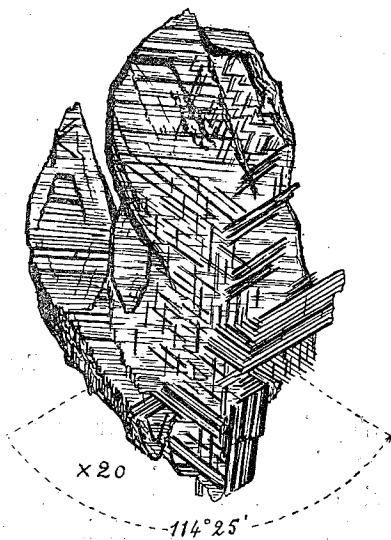


Fig. 17.

Si l'on considère l'état de parfaite fraîcheur des trois minéraux qui s'associent ainsi, on n'y verra que des groupements et non des parmorphoses. Les variations que présente le mode d'accolement confirment cette supposition. Les lamelles d'anatase, dont il vient d'être question, ne sont pas toutes aplaties suivant (110), comme le représentent les figures; la disposition des stries, pour certaines, indique plutôt (100). J'en ai aussi rencontré de tabulaires suivant (001), avec contour quadratique partiel, donnant une figure d'axe très nette.

Apatite. — Minéral abondant dans les préparations taillées dans les mosaïques quartzzeuses régénérées, associées à la chlorite secondaire (voir chlorite). Bien que l'apatite soit reconnaissable dans le quartzite, elle y est fort clairsemée; elle est rare dans l'argile jaune. Celle qui nous occupe maintenant est d'origine secondaire, ainsi que l'indique son accumulation dans le quartz recristallisé. La détermination était assez difficile à cause des contours irréguliers des grains (environ $0^{\text{mm}}1$). Ils sont blancs, assez réfringents, et ne présentent que rarement des

formes cristallines nettes. Ce sont de vagues prismes, des tablettes, avec pyramides ($[10\bar{1}0] : [10\bar{1}1] = 50^\circ$ environ) et bases. Parallèlement à ces dernières sont disposées les inclusions qui ne manquent jamais.

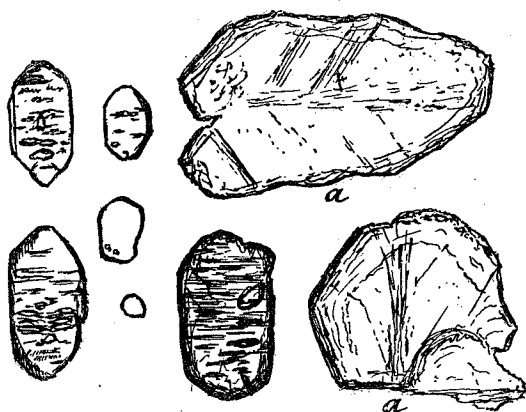


FIG. 18.

L'apatite se trouve encore en granules libres, plus volumineux, dans la chlorite elle-même. Leur densité dépasse 5; ils sont solubles dans l'acide chlorhydrique et donnent la réaction des phosphates. Les plus grands, aplatis suivant la base, avec indications de contours hexagonaux, sont uniaxes, négatifs (fig. 18, a).

Monazite et xénotime. — J'ai déterminé les propriétés optiques du premier de ces phosphates (Ce La Di PO_4) et donné la description du second (YPO_4 avec Er et Ce) dans une note spéciale à laquelle je renvoie.

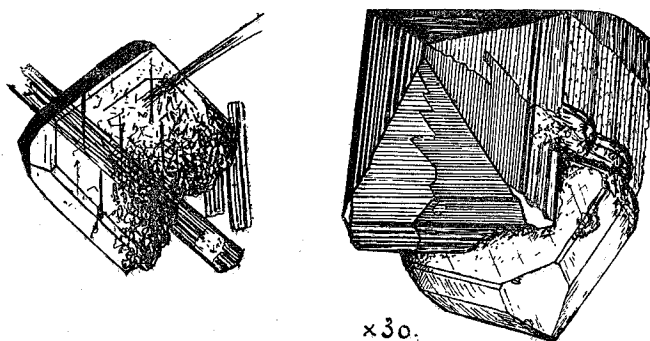


FIG. 19.

La monazite s'est formée un peu plus tard que les autres minéraux, à Nil; ses petits cristaux tabulaires sont fixés sur les quartz les plus

récents et sur les anatases complètement développées. Beaucoup sont transpercés par des aiguilles de tourmaline. Ils contiennent aussi des inclusions liquides et des grumeaux d'argile jaune avec zircon. D'ordinaire ils sont incomplets, largement échancrés à leur point d'attache dans les poches argileuses; cette blessure rugueuse est parfois hérissée de pointements constituant un guérissage (fig. 19).

La formation du xénotime est contemporaine de celle de la monazite; il contient les mêmes corps étrangers. Sa grande fragilité (clivage) fait qu'on ne le trouve qu'exceptionnellement fixé au quartz, sur lequel la monazite adhère mieux. Le xénotime s'accôle à l'anatase, mais je ne l'ai jamais vu fixé à la monazite (fig. 20).

Dans une partie du gisement, très riche en ces minéraux, existent des cristaux microscopiques, tabulaires, de xénotime, reconnaissables à leur couleur jaune rougeâtre et à leur figure monoaxe positive.

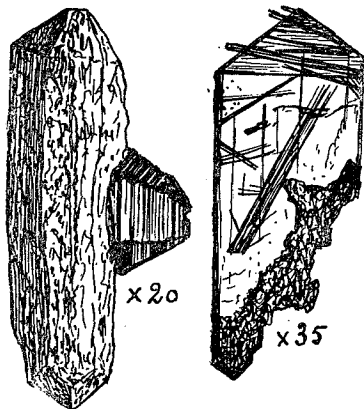


FIG. 20.

Dolomie, pyrite, minéral indéterminé. — D'autres espèces encore, que celles dont il a été question jusqu'ici, se forment dans l'argile d'altération des roches de Nil-Saint-Vincent; moins résistantes que d'autres, elles disparaissent dans la suite, sauf lorsqu'elles étaient incluses dans le quartz. On ne les trouve que dans cette dernière condition.

La dolomie en petits rhomboèdres isolés, à faces courbes, à angles répétés, à structure zonaire, un peu ferrugineuse, est visible à l'œil nu, sous forme de petites mouchetures laiteuses, dans tous les quartz de la région où je l'ai signalée autrefois. Venue assez tard, puisqu'on la trouve exclusivement près de la surface des cristaux de quartz, la dolomie s'observe aussi bien sur de très petits prismes (voir Chastre) que sur ceux qui ont la longueur du bras (Nil-Saint-Vincent). Elle s'amasse en petits groupes et en essais qui marquent peut-être le terme d'une réaction. Ces faits se reproduisent pour le quartz d'autres pays encore; j'ai vu, sur de grands cristaux de Suisse, des cavités rhomboédriques de 2 centimètres abandonnées par de la dolomie.

Les petits cristaux étant très près de la surface du quartz, ils provoquent souvent des fêlures dans la lame siliceuse qui les recouvre, et

des liquides corrosifs, s'infiltrant par là, les dissolvent partiellement ou complètement. Il en résulte des inclusions liquides à contours cristallographiques et à bulle déplaçable que l'on pourrait confondre avec des cristaux négatifs, la fêlure étant, d'ordinaire, invisible (fig. 21).

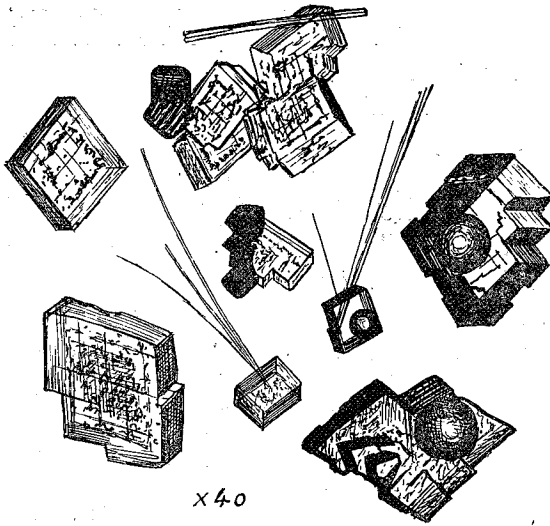


FIG. 21.

Ces inclusions sont peut-être à rapprocher de celles que M. de Kroustchoff a trouvées dans le quartz d'un phyllade vert d'Erlbach (Saxe). Il est vrai que cet observateur ne parle pas de la mobilité des bulles; mais ses inclusions sont bien plus petites que celles des quartz de Nil-Saint-Vincent.

On trouve encore, dans les dernières couches d'accroissement des quartz, de délicates associations de dolomie et de tourmaline (voir fig. 21) et, plus fréquemment, de dolomie et de pyrite.

Ce bisulfure de fer diffère de celui de la roche par sa forme. Dans le quartzite, je n'ai trouvé que des cubes avec troncature octaédrique, tandis que les petits cristaux des quartz présentent la combinaison striée du cube et du dodécaèdre pentagonal. Ils sont isolés, fixés à des aiguilles de rutile, de tourmaline (bas de fig. 12), ou encore à des grumeaux argileux; ils se rassemblent parfois à plusieurs pour constituer des essaims et des petits chapelets.

Eux aussi ont eu à souffrir des infiltrations. Ils ont fourni la matière limoniteuse qui s'est insinuée en dendrites microscopiques dans les

craquelures du quartz. De temps en temps, on rencontre même les moules translucides de cubes complètement dissous. J'en figure un, particulièrement riche en faces, sous un grossissement moyen; il est encore intéressant par le fait que les jeux de lumière qu'il présente sont tels, qu'il a fallu recourir à divers artifices d'éclairage pour établir sa transparence (fig. 22).

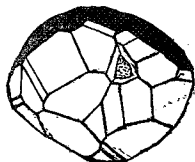


FIG. 22.

La dolomie et la pyrite étaient exceptionnellement associées à de petites houppes d'aiguilles courtes, d'un minéral qui a complètement disparu, abandonnant des vides salis par un peu de matière brune. Ces traces sont trop peu caractéristiques pour permettre une détermination.

Chlorite. — Elle a été mentionnée antérieurement aux paragraphes relatifs à la sagénite et à l'apatite. Ce sont des amas vert brunâtre, faciles à tailler au canif, dont je n'ai vu les blocs épars que parmi les déchets de carrière. Au microscope, c'est une chlorite à grains fins cristallins, hexagonaux, formant une masse très serrée, au milieu de laquelle se voient des traînées et des plaques de chlorite radiée, vert d'herbe, transparente, à pléochroïsme marqué. Ces masses sont traversées par des veines quartzieuses, en mosaïque, saupoudrées de chlorite et d'apatite. Elles contiennent, en outre, des grains anguleux, des petits prismes brisés et ressoudés de quartz, avec inclusions liquides à cubes de sel. En bien des points des préparations courent des linéaments sombres, passant entre les grains de quartz, pénétrant dans les fissures, qui ne sont autre chose que des lamelles de sagénite, dont la structure réticulée se reconnaît lorsqu'elles se présentent un peu obliquement dans la coupe.

Ce qui est donc particulier à ces amas de chlorite, c'est la sagénite (avec anatase) et l'apatite qu'ils contiennent. Je n'y ai trouvé que des débris des autres minéraux du gisement, peut-être accidentellement amenés avec les poussières de l'exploitation.

Mispickel pseudomorphosé en quartz. — Ces épigénies, décrites par Renard, confirment la désagrégation du quartzite; elles établissent que les minéraux secondaires ont continué à se former après l'achèvement de ces moulages, puisqu'ils sont implantés sur leur surface.

Une coupe mince, normale sur l'axe *cc* du mispickel, présente l'aspect rendu par la figure 23 (au double) donnée ci-après. C'est une section en losange, bordée de petites verrues siliceuses, qui est composée d'une mosaïque dont les éléments sont de dimensions différentes.

Les plus grands, appartenant à des bâtonnets de quartz (2 à 3 millimètres de diamètre), se trouvent localisés dans une bande suivant la

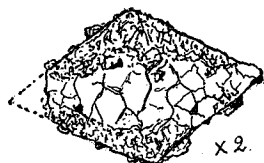


FIG. 23.

grande diagonale du losange; leurs axes sont peu inclinés sur l'axe du mispickel; leur limpidité contraste avec le peu de transparence des autres parties de la coupe, où la mosaïque est à plus petits éléments, sans vides interstitiels, criblée d'inclusions gazeuses et liquides, chargée de grumeaux jaunes opaques, de débris de tourmaline, de granules de zircon, d'ilménite et d'un peu de rutile.

Les rugosités extérieures sont des granules quartzeux surajoutés et salis par des punctuations de toute nature, avec tourmaline et anatase.

Les rugosités extérieures sont des granules quartzeux surajoutés et salis par des punctuations de toute nature, avec tourmaline et anatase.

D'après ces détails, il est permis d'admettre que l'attaque du mispickel s'est faite dans le quartzite incomplètement décomposé et que la silice, incorporant des produits non transformés (zircon, tourmaline brisée, ilménite), a rempli les vides créés par la dissolution partielle du sulfure. Le mispickel du centre disparut à son tour et fut remplacé par de la silice plus pure, car elle devait traverser l'écorce déjà formée; finalement, des grains de quartz et d'autres minéraux se fixèrent à la surface des pseudomorphoses complètement libérées.

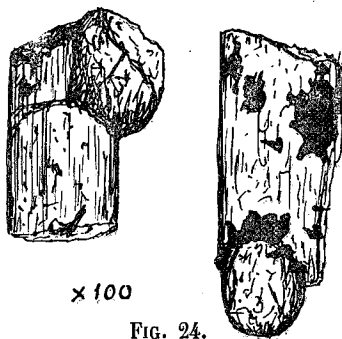
Résumé. — L'histoire du remarquable gisement de minéraux de Nil-Saint-Vincent est simplement celle de tous les dépôts analogues dont la genèse a été étudiée par les méthodes pétrographiques modernes : des quartzites, des schistes se sont altérés; ceux de leurs constituants qui étaient de nature plus résistante ont été isolés et sont passés dans le produit d'apparence argileuse qui résultait de la décomposition. Des solutions siliceuses étendues, véhiculant, en outre, d'autres corps, donnèrent naissance à d'abondantes cristallisations de quartz et à des régénérations, des guérissages, des transformations de minéraux déjà existants (quartz, tourmaline, apatite, carbonates, pyrite, pseudomorphoses de mispickel), ainsi qu'à des composés nouveaux (anatase, rutile, brookite, monazite, xénotime).

Le pourrissage de la roche a surtout eu lieu dans le voisinage des intercalations schisteuses, disloquées par des tassements, qui donnaient plus facilement accès à l'eau et lui permettaient de se charger des éléments nécessaires à de nouvelles combinaisons minérales.

Opprebais.

Un schiste altéré, qui affleure dans le haut de cette carrière de quartzite, se montre composé, sous le microscope, d'un feutrage sériciteux très fin, quartzeux, avec un peu d'apatite et de temps en temps un grain de zircon ou de tourmaline. Dans cette masse se voient des taches limoniteuses accompagnant de la chlorite en lamelles assez grandes, croisées en tous sens, vertes, pléochroïques. A ces lamelles sont plus particulièrement associées des ponctuations ou des paillettes noires, opaques, d'ilménite. Lorsque la roche est porphyrisée, on sait constater l'absence de magnétisme de l'ilménite, ainsi que sa résistance à l'acide chlorhydrique.

Le produit d'altération, débarrassé des éléments schisteux, contient, en minime proportion, les minéraux suivants énumérés dans l'ordre de fréquence : le zircon, l'ilménite, la tourmaline, le rutile. Ce dernier est rare; ce sont des grains ou des prismes très courts, coudés, rouge-orange, accompagnés de quelques débris de sagénite. L'anatase n'est représentée que par des granules isolés, rugueux, bleuâtres. La tourmaline présente ici, comme à Nil-Saint-Vincent, des exemples d'inclusion de zircon figurés ci-contre (fig. 24).



Les quartzites d'Opprebais sont intéressants par les fragments anguleux de schiste, dépassant souvent le volume du poing, qu'ils contiennent. Ceux-ci sont gris-vert, d'aspect frais et résistant, d'une étonnante finesse de grain et d'une grande homogénéité. Sous un fort grossissement, on n'arrive à y distinguer que deux éléments : un tissu extrêmement serré de séricite, criblé de ponctuations d'ilménite, associées ou isolées. Cette uniformité de composition n'est rompue que par la présence de sections de chlorite (quelques centièmes de millimètre) et d'apatite. La roche a donc les caractères des schistes du Brabant.

Au contact entre l'inclusion schisteuse et le quartzite, ce dernier renferme beaucoup d'ilménite dans le ciment sériciteux entourant les grains de quartz. Certaines préparations contiennent même des veinules (0^{mm}6) dont les parois sont tapissées de rosettes de chlorite et de lamelles anguleuses d'ilménite; le quartz les a remplies.

Dans le fond de la carrière, j'ai extrait d'une géode de quartz, une certaine quantité d'argile jaunâtre contenant des écailles de sagénite.

M. Malaise a trouvé, dans les mêmes conditions, de petits cristaux d'anatase.

Chastre.

Quartzite sombre, avec bandes d'altération jaunâtres, à structure microscopique très serrée, traversé par un lit schisteux accompagné de produits d'altération terreux.

Ce schiste, gris fauve, assez quartzeux, est composé de séricite avec taches et traînées limoniteuses. On y reconnaît des bâtonnets de tourmaline, de rares grains de zircon et un grand nombre de granules blancs, adamantins en lumière réfléchie, grisâtres ou opaques en lumière transmise, d'anatase. Certaines punctuations noires, qu'on serait tenté de rapporter à l'ilménite, sont d'aspect rouillé en lumière réfléchie.

La masse terreuse altérée, décolorée à l'acide chlorhydrique et privée des pierrailles, contient des grumeaux roux, ferrugineux, ainsi qu'un grand nombre de minuscules cristaux cubiques de même couleur, parfois brun-noir, luisants, d'un dixième de millimètre au plus, non magnétiques, qui ne peuvent être que de la pyrite partiellement transformée en limonite siliceuse. Beaucoup de pyrites pseudomorphiques, brunes ou noires, résistent ainsi aux acides dilués. Avec l'acide concentré et chaud, ces cristaux disparaissent.

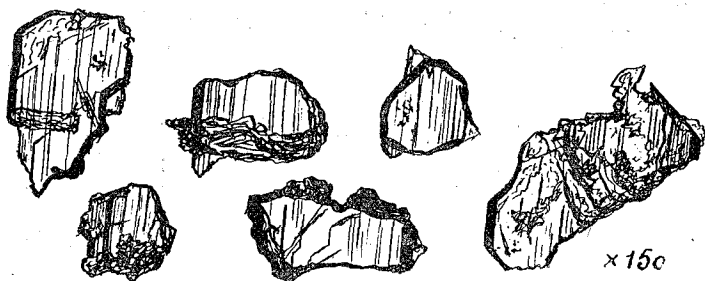


FIG. 25.

Le minéral le plus fréquent venant ensuite est l'anatase tabulaire, bien moins belle qu'à Blamont, quoique accompagnée d'un certain nombre d'ébauches de cristaux, ainsi que de bipyramides basées, adamantines, blanches ou bleu métallique, laiteuses, translucides,

striées, du même minéral. Certains de ces petits cristaux ont une fraction de millimètre et sont assez riches en faces avec $\{111\}$ $\{110\}$ $\{117\}$ $\{107\}$ comme dans les autres gisements.

La tourmaline et le zircon, ayant les formes habituelles, sont peu abondants; le deuxième surtout. Le rutile manque. Par contre, on trouve la brookite avec les caractères déjà reconnus à Nil-Saint-Vincent ($0^{mm}4$ à $0^{mm}2$); la figure 25 en représente quelques paillettes.

Les petits cristaux isolés de quartz, que contient le produit d'altération, offrent la même particularité qu'à Nil-Saint-Vincent, de porter, sur leurs faces, de minuscules empreintes rhomboédriques de dolomie (fig. 26).

Le quartzite semble recristallisé, au moins partiellement. Les bandes colorées en jaune sont remplies d'infiltrations limoniteuses, de flocons opaques, blancs en lumière réfléchie, d'essaims de punctuations d'ilménite, bref, elles accusent les débuts de l'altération « argileuse » du ciment.

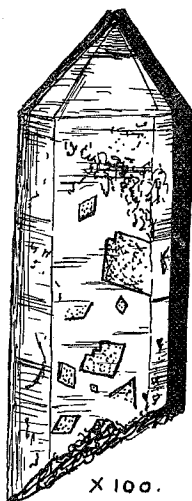


FIG. 26.

Court-Saint-Étienne.

Dans des roches quartzieuses de cette localité, M. le comte Goblet d'Alviella a découvert de beaux filaments rouges de rutile, dont il a bien voulu me communiquer des échantillons. Ces fibres recouvrent la surface des joints de la pierre et s'étendent sur plusieurs centimètres.

En même temps, M. Goblet d'Alviella attirait mon attention sur les bacilles du même minéral, groupés en houppes dans les petites cavités de la roche. J'ai extrait de celles-ci des bâtonnets altérés, couverts de rugosités ferrugineuses, transparents par places, rouge-orange, à extinctions droites, présentant l'association en Y, caractéristique du rutile.

Dongelberg.

Le quartzite de cette localité contient également des inclusions de débris de schiste, mais elles sont rares. J'en ai observé une de grande taille, ayant les apparences d'une tache sombre, elliptique ($1^{m}20 \times 0^{m}60$),

sur la paroi verticale d'un joint (fig. 27). Ce bloc roulé, encastré dans le quartzite, avait une schistosité bien marquée. En lames minces, on constate un fin tissu séricitieux, avec mélange intime de chlorite,

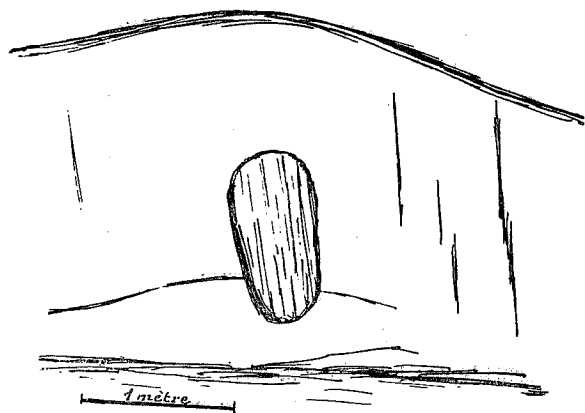


FIG. 27.

tachetée, en lumière réfléchie, de punctuations noires d'ilménite et cuivrées de pyrite. Cet éclairage montre aussi des myriades de points blancs, crayeux, associés aux granules ferrugineux, ou entourant les paillettes de chlorite. En lumière transmise, ces points blancs, qui ont tout au plus quelques centièmes de millimètre, sont verdâtres, rugueux, à contours en losange, en fuseau, vaguement quadratiques parfois. Ils résistent aux acides et sont certainement associés à des granules et même d'infinitésimales bipyramides d'anatase, mais j'hésite à les rapporter tous à ce minéral, à cause de la prédominance des contours rhombiques. La tourmaline est en bâtonnets courts, très petits; le zircon paraît absent. Ces deux derniers minéraux sont, du reste, difficiles à distinguer dans le feutrage micacé, à cause de leur exigüité.

En traitant la roche grossièrement pulvérisée à l'acide fluorhydrique, on sait en extraire les minéraux accessoires et constater la présence de grains de magnétite. La tourmaline est en cristallites aussi larges que longs. La très grande rareté du zircon se confirme.

Quant aux autres microlithes, ils semblent avoir souffert de ce traitement, qui ne m'a rien appris d'utile pour leur détermination définitive.

Les lames normales au feuilletage mettent en évidence une schistosité très serrée au milieu de laquelle se détachent de fines lignes noires, discontinues (0^{mm}1 d'épaisseur), écartées de 1 à 2 millimètres, consis-

tant en pyrite, ilménite et magnétite; entre ces veinules, les minéraux ferrugineux sont rares. C'est donc probablement, comme à Opprebais, un schiste du Brabant.

Ce grand bloc roulé contenait, à son tour, des lentilles siliceuses analogues à celles qui furent déjà décrites (Blanmont). Le ciment qui relie les grains de quartz, anguleux pour la plupart, est de la chlorite à pléochroïsme marqué; on y observe aussi du zircon, mais pas de tourmaline.

Les joints du quartzite sont remplis par un sable très fin et très blanc, utilisé dans la localité pour le nettoyage des objets métalliques. Il est mélangé à un mica argenté et contient des cristaux bipyramidés et tabulaires d'anatase, des paillettes de brookite analogues à celles des gisements déjà décrits, du zircon; le rutile manque.

Lembecq.

Un schiste gris-vert, sans altération apparente, de cette localité, se compose d'une matière séricito-chloriteuse, avec quartz abondant par places. En lumière polarisée, l'ensemble d'une préparation montre des plages elliptiques d'apparence isotrope, où la chlorite domine.

A l'examen détaillé, on reconnaît des taches ocreuses, isolées, entourant parfois un grain de magnétite; d'autres taches ont le rouge de l'oligiste. L'apatite en prismes courts, à section hexagone, est assez fréquente. Un semis de ponctuations (moins de 1 millimètre), blanches en lumière réfléchie, opaques ou peu translucides en lumière transmise, s'étend sur toute la lame. Sous de forts grossissements, beaucoup de ces granules ont les formes quadratiques de l'anatase.

Dans les quartz cariés épidotifères de Lembecq (Champ-Saint-Véron), on trouve l'oxyde de titane sous forme de rutile, dont les aiguilles atteignent 6 à 7 millimètres. L'une d'elles, fortement cannelée, terminée par {111} et {110}, a des extinctions droites, une couleur rouge-orange foncé et un faible pléochroïsme.

Les fissures des rochers de ce gisement contiennent souvent des quartz en mauvais cristaux, associés à des mouches de divers sulfures, notamment de galène. J'ai observé ce minéral, inclus dans le quartz, dans des conditions établissant la formation contemporaine des deux minéraux. Ce sont de petits cubes avec des tronçatures (111) et (110), excessivement brillants, disposés sur un plan parallèle à une face du prisme de quartz, à environ un demi-millimètre de pro-

fondeur, de telle façon que tous ont un axe quaternaire, parallèle à l'axe optique du quartz, et l'autre normal à une face du prisme, bien que la plupart soient fortement allongés dans l'une ou l'autre direction.

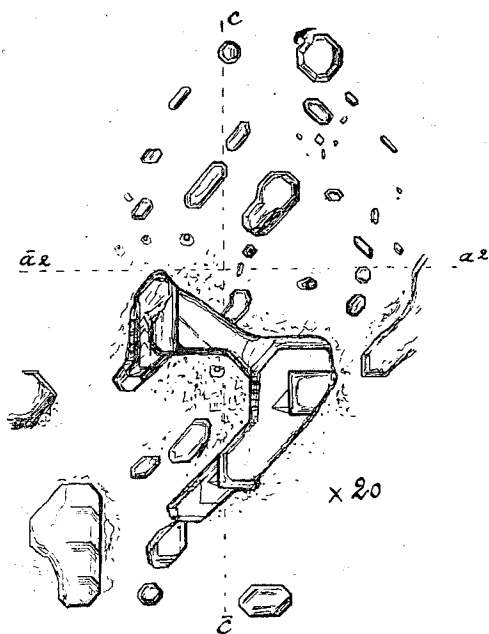


FIG. 28.

Dans leur voisinage se voient des inclusions liquides englobant parfois incomplètement un corpuscule de galène. Un cristal plus volumineux constitue un squelette également orienté (fig. 28).

Quenast.

Lors d'une récente visite à cette vaste carrière, j'ai trouvé la coupe de contact avec l'Yprésien rafraîchie et fort instructive. On y voyait clairement le mode de formation des grosses boules de porphyre, dont l'origine n'a pas toujours été bien comprise. Elles se constituent simplement par l'altération des blocs polyédriques, que de nombreux joints, d'origine mécanique, ont découpés dans la roche. Plusieurs de ces masses avaient été fendues, de sorte qu'on pouvait suivre toutes les phases de leur altération. Celle-ci ne suit les plans qui limitent le bloc que jusqu'à une faible profondeur; en continuant à progresser, les angles s'effacent, de sorte que les zones centrales d'altération sont à surfaces

courbes. Le résultat final de la décomposition est donc un sphéroïde.

En haut de la carrière, on peut étudier de près la marche de la décomposition de cette roche si résistante. La kaolinisation des feldspaths y est complète; ils se détachent en petits rectangles crayeux sur le fond verdâtre de la pâte fortement épidotisée. Au-dessus, le porphyre se délite en plaques schisteuses; enfin, il donne naissance à un détritit ocreux plus clair.

Ce dernier contient, outre les éléments argileux, ferrugineux, quartzeux, des grains, parfois partiellement hexagonaux, d'ilménite avec leucoxène et de l'épidote en fragments concassés, ou en débris de prismes; cette dernière est relativement fraîche et facile à déterminer optiquement.

La masse renferme encore une certaine quantité de zircon dont les cristaux se prêtent admirablement à une comparaison avec ceux de nos quartzites et de nos schistes. La différence est radicale. Tous les grains de zircon de Quenast ont l'aspect frais, l'éclat adamantin, des termi-

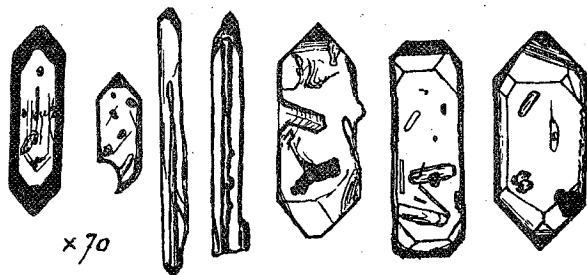


FIG. 29.

naisons parfaites et à arêtes vives, même pour les plus grands, qui ont presque un demi-millimètre. La plupart sont rougeâtres; tous sont transparents, sans dépoli, et montrent les inclusions caractéristiques, ainsi que de longs boyaux internes. Des alvéoles et des encoches marquent souvent l'empreinte de corps étrangers. En un mot, on voit qu'il s'agit d'un minéral non charrié, d'un élément de première formation de la roche qui a donné le produit de désagrégation (fig. 29). J'ai, en effet, retrouvé les mêmes petits cristaux dans le porphyre, où ils n'avaient pas encore été signalés, je pense.

Les minéraux titanifères ont, de leur côté, donné naissance à de l'anatase en tablettes quadratiques, excessivement minces, ayant au maximum 0^{mm}2 de côté, un éclat adamantin métallique et, par transparence, une forte coloration brun verdâtre ou brun-jaune.

La figure d'interférence est monoaxe, négative. La structure zonaire est habituelle; elle se marque soit par des bandes plus claires, soit par des stries; les ponctuations étrangères noires, opaques, sont souvent rassemblées au centre ou disposées suivant les diagonales. Beaucoup de paillettes sont incomplètes, dentelées au point de fixation (fig. 30).

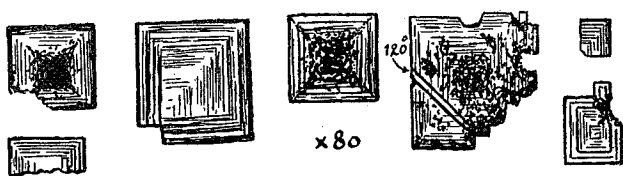


FIG. 30.

Quenast a fourni un grand nombre de composés sulfurés et silicatés; parmi ceux-ci, des minéraux tels que l'épidote étudiée par M. Stöber, la prehnite découverte et décrite par M. Cesàro, l'asbeste, c'est-à-dire les compagnons habituels de l'axinite, minéral que Dumont signale déjà. Il est intéressant d'entrer dans des détails sur la façon dont certaines de ces substances s'associent au quartz et d'insister sur quelques particularités de ce dernier.

Entre les touffes d'épidote, qui tapissent les fissures du porphyre, se trouvent de nombreux cristaux de quartz, ne dépassant pas quelques centimètres. Les moins grands (quelques millimètres) contiennent un

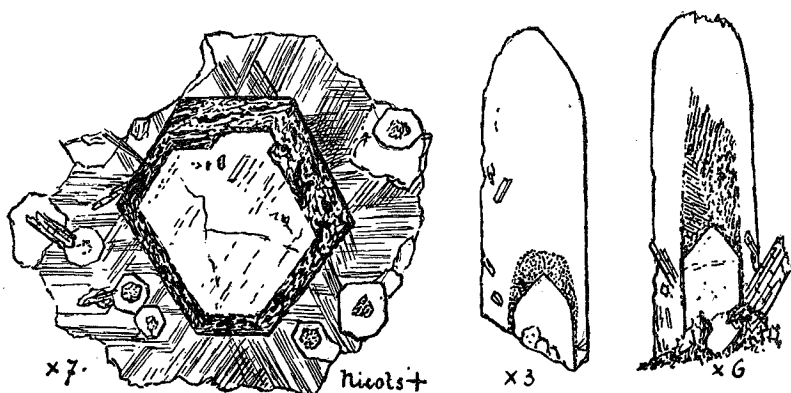


FIG. 31.

noyau axial constitué par une matière floconneuse, grisâtre, verdâtre, translucide, biréfringente, kaolineuse, accompagnée d'inclusions liquides et de vacuoles gazeuses sombres, en forme de boyaux, ovoïdes aussi, semblables à celles des agates et des bois silicifiés. La matière

grumeleuse est distribuée suivant des plans qui ne sont pas ceux des rhomboédres terminaux; il est d'ailleurs rare que le noyau montre des indices de terminaison pyramidée.

Lorsqu'on sectionne un fragment de la roche décomposée (épidote, chlorite) en même temps que les petits quartz qui y sont fixés, de façon que ceux-ci soient coupés parallèlement à l'axe, on reconnaît qu'il y a eu des modifications successives dans le milieu qui donna naissance aux cristaux de silice. A la base des prismes se trouve enclavé un pointement plus petit, de même orientation, clair, avec files d'inclusions liquides à cubes; il est enveloppé et surmonté par une partie floconneuse, avec inclusions gazeuses et autres, constituant un noyau axial de forme et de grandeur variables; enfin vient une dernière enveloppe, limpide celle-ci, pauvre en corps étrangers autres que l'épidote en aiguilles bien développées (fig. 31).

Les coupes normales à l'axe, prises vers la base des prismes, montrent la disposition annulaire de la matière kaolineuse à ce niveau. En lumière polarisée, on reconnaît, en outre, que l'enveloppe extérieure a une structure compliquée, tandis que le pointement central est simple (fig. 31 nicols +).

Les plus remarquables des interpositions qui viennent d'être énumérées sont certainement celles qui contiennent, avec un liquide, de petits cubes que l'on attribue au sel marin. On les trouve aussi dans les grains de quartz de la roche de Quenast, mais elles y descendent à des dimensions excessivement réduites, tandis que dans les cristaux filoniens elles sont dix fois plus volumineuses.

Vu la fréquence des inclusions de ce genre dans d'autres roches, où elles sont d'ordinaire bien plus difficiles à observer, et les discussions qui se sont greffées sur leur détermination, il convient de les examiner de plus près, en laissant de côté les délicates déterminations de NaCl par voie spectroscopique ou chimique, dont l'exactitude laisse parfois à désirer.

Les petits cubes ont une teinte jaunâtre, attribuée par Zirkel à la coloration des lames minces. Si elle était réelle, elle correspondrait, en effet, à une coloration bien intense puisqu'il s'agit de corpuscules de quelques microns seulement. C'est bien un phénomène optique qui est ici en cause, car les grands cubes ($0^{\text{mm}}02$ et au delà), loin d'avoir une teinte plus prononcée, semblent, au contraire, moins colorés.

Les angles de ces cubes sont d'ordinaire arrondis. Dans les cas favorables, on voit des troncatures nettes suivant les faces d'un rhombododécaèdre, semble-t-il; d'autres fois, elles appartiennent plutôt à

l'octaèdre. Cependant, certains de ces cristaux sont réellement globuleux (fig. 32 a). Les apparences de clivage cubique (Zirkel, *Mikroskop. Besch.*) dépendent, à mon sens, de la diffraction. L'isotropie, notée par tous les auteurs, s'est vérifiée.

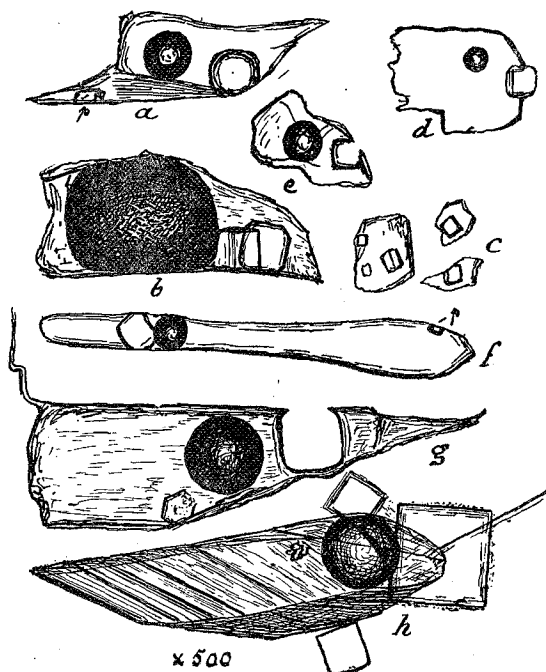


FIG. 32.

Je n'ai pas observé, même sur les grandes inclusions, la mobilité des petits cubes (Zirkel); tous sont fixés, de sorte qu'en inclinant le microscope, la bulle se presse entre la paroi de la cavité et le cristal, sans le déloger. Quand la disposition de l'enclave le permet, on constate une interruption dans son contour, à l'endroit où le cube se soude au quartz; parfois, la jonction est si parfaite, qu'aucun artifice d'éclairage ne parvient à la déceler (fig. 32 d, e, g). C'est un argument sérieux en faveur de la présence du sel gemme, car son indice est presque le même que ceux du quartz et du baume. En effet, on a :

Baume, $n =$	1,549
Quartz,	1,548 moyenne.
Sel,	1,544

tandis que la fluorine, à laquelle on a voulu attribuer les cubes, a pour indice 1,433.

Certaines de ces inclusions contiennent un cube, d'autres deux; il en est qui ont la bulle seule, tandis que leurs voisines renferment chacune un cube sans bulle. Beaucoup englobent, outre le cube, une ou plusieurs particules s'illuminant vivement en lumière polarisée (*p*, sur les figures); ce sont parfois des débris de chlorite.

L'essai de chauffage a eu un résultat négatif. A la température d'ébullition du baume, et pour une lame très mince, le liquide s'est montré plus mobile, sans que bulle ni cube n'en parussent modifiés. Renard remarque qu'en chauffant ses préparations à l'aide de glycérine portée à 200°, il ne produisait aucune altération dans le contenu de la vacuole. Rosenbusch, au contraire, observa un commencement de dissolution des cubes à 70°, puis, au delà, un accroissement de la solubilité pour les inclusions du granite de Rothau (Alsace), ce qui lui paraît aller à l'encontre de l'existence de chlorure de sodium.

Dans une de mes préparations, le chauffage répété a provoqué la rupture d'une des grandes inclusions et la sortie d'une partie de son contenu dans la couche de baume prise entre le verre couvreur et la lame. A cette place se sont formés trois petits cristaux tabulaires, blancs, isotropes, un de 0^{mm}024 et deux de 0^{mm}012 de côté environ, avec une épaisseur admissible de 0^{mm}01, à contours très nets. Leur indice de réfraction est si voisin de celui du baume, qu'après complet refroidissement les cristaux devinrent de plus en plus invisibles; il faut modifier l'indice du baume, en chauffant la préparation, lorsqu'on veut les observer à nouveau (fig. 52, *h*). Ces caractères ne me semblent convenir qu'au chlorure de sodium et appuyer l'opinion la plus généralement admise.

L'interprétation de ces observations reste à trouver. Les ingénieuses spéculations que l'on avait basées sur l'existence des inclusions liquides à cubes sont ruinées et l'on n'en a pas proposé de nouvelles. Un coup d'œil sur les croquis ci-dessus suffit à établir qu'il n'y a pas de proportions constantes entre les divers éléments de ces enclaves : cavité, bulle, cube; on a vu aussi qu'il n'y a pas davantage de constance dans la composition de gouttelettes incluses voisines. Il s'agit, dès lors, de phénomènes moléculaires, sur lesquels nous avons d'autant moins de renseignements que nous ne savons comment intervient ce facteur, si important en géologie, qu'est le temps.

Je consigne dans une note additionnelle (I), jointe à ce travail, quelques autres remarques relatives aux inclusions liquides en général, et j'en arrive à l'examen des quartz de Quenast contenant un minéral

filamenteux, souvent altéré, que l'on considère comme étant l'asbeste. Ces échantillons vont nous montrer les curieux résultats de l'altération aqueuse à laquelle si peu de minéraux résistent.

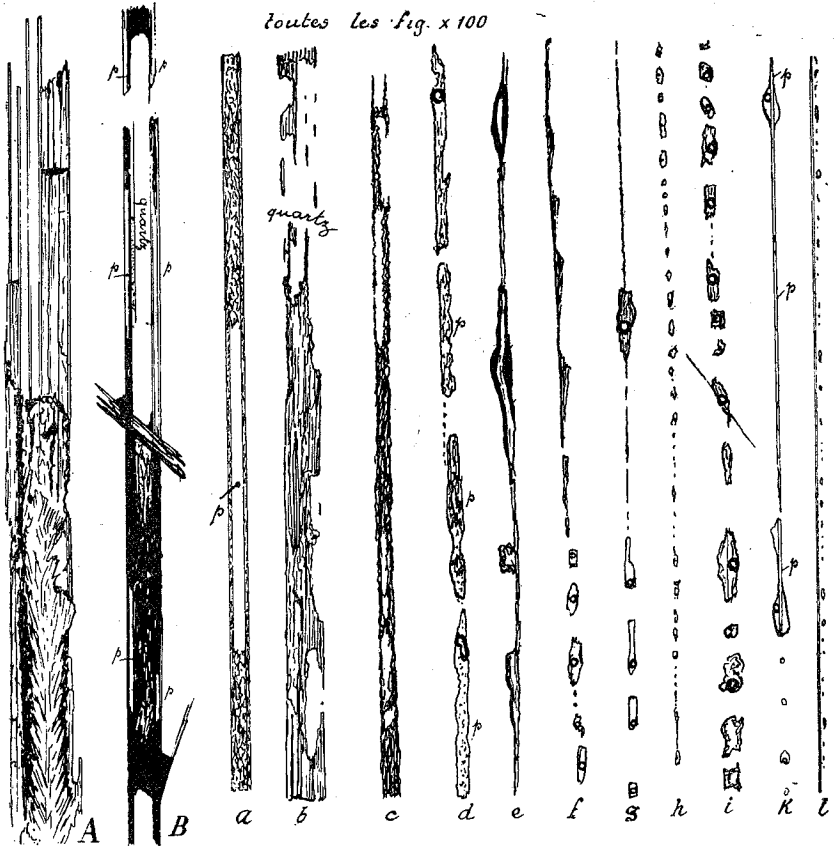


FIG. 33.

On sait que les fibres minérales, même lorsqu'elles sont engainées dans la silice, sont sujettes à se décomposer lorsque leurs extrémités sortent de l'enveloppe qui les protège. Il se forme, à la longue, des capillaires traversant le cristal de quartz, des tubes à sections polygonales, dont les anciens minéralogistes avaient déjà reconnu l'origine. Un phénomène semblable s'est produit à Quenast. L'asbeste, dont les houppes pénètrent dans le quartz, a été transformée en une matière terreuse opaque ou translucide, brunâtre. Les plus grands canalicules sont parfois remplis de chlorite (fig. 55, A), tandis que les plus fins ont subi une altération partielle qui mérite d'être étudiée en détail.

Souvent, la décomposition s'étend le long d'un groupe de fibres

en suivant les unes et en respectant les autres. En lumière polarisée (*p* sur les figures), on s'assure de la présence de tronçons intacts entre des parties opaques, décomposées, isolées les unes des autres et parfois même complètement séparées, sans qu'il soit possible de voir comment l'altération a pu se propager au delà de l'interruption (fig. 33, B). Tantôt ce sont les parties centrales du filament qui disparaissent et se confondent avec le quartz (fig. 33, B, au milieu et en haut), tantôt c'est, au contraire, le centre qui reste intact (fig. 33, a). Certaines fibres sont rongées sur toute leur longueur et comme dissoutes dans la silice, au sein de laquelle elles n'abandonnent que quelques bâtonnets noirs, dentelés, des ponctuations, des pointes se faisant face, qui marquent encore leur largeur primitive (fig. 33, b, c). Puis, ce sont des bulles d'air et de liquide qui font leur apparition dans un stade plus avancé de cette singulière carie; elles sont reliées par des restes de filament opaque, ou séparées les unes des autres (fig. 33, d, e). Finalement tout se résout en un chapelet d'inclusions liquides isolées, avec bulles, dont beaucoup sont allongées dans le sens de la fibre disparue, mais moins larges qu'elle (fig. 33, f à i); de distance en distance, une inclusion plus volumineuse indique l'épaisseur première du fil d'asbeste (fig. 33, g). Ailleurs, des portions intactes, de ce dernier, s'illuminent en lumière polarisée et s'associent de maintes façons aux traînées d'enclaves liquides marquant leur prolongement (fig. 33, k et l). Certaines inclusions, plus larges, semblent s'être formées au moment de la constitution du cristal de quartz; elles laissent l'impression d'une goutte liquide adhérent à un fil (fig. 33, k). Pour éviter toute erreur d'interprétation, j'ai vérifié ces observations sur un éclat du même quartz, monté à froid dans du baume.

La cicatrisation du quartz dans les capillaires résultant de la disparition des fils d'asbeste, l'isolement des enclaves liquides à bulles remplaçant le minéral dissous, jettent un jour sur la formation ultérieure possible d'inclusions liquides dans les minéraux, non seulement dans ceux qui sont relativement tendres et à clivages marqués (calcite, barytine, fluorine, etc.), où, d'ailleurs, des infiltrations étrangères diverses ont été constatées, mais encore suivant les plans de rupture et autres de cristaux durs (nappes d'inclusions du quartz).

On est ramené — sans qu'il soit aucunement question de généraliser la remarque — aux observations de Deuchar sur les fêlures invisibles du verre, qui s'ouvrent sous la pression, mais disparaissent quand l'effort vient à cesser. Ces solutions de continuité ne sont décelables ni par réflexion totale, ni par miroitement, pourtant elles se rouvrent facilement, comme le savent les miroitiers, qui ont soin, lorsqu'ils ont

à couper une glace fêlée, de s'assurer d'abord, par pression, si la fente visible ne se propage pas, en réalité, beaucoup plus loin.

Outre l'asbeste et les inclusions liquides sans cubes, le quartz qui nous occupe contient encore de petits cristaux plats, riches en faces, fortement striés, transparents, blancs, agissant vivement sur la lumière polarisée. Leurs dimensions sont de moins d'un dixième de millimètre à plusieurs millimètres. Ils sont libres dans le quartz. Ceux qui touchent à une fibre d'asbeste décomposée sont eux-mêmes atteints par l'altération et transformés en une matière opaque verdâtre. Le microscope montre que quelques-uns communiquent avec l'extérieur par d'imperceptibles fêlures, qui ont aussi permis l'entrée d'un dissolvant.

En brisant l'échantillon, j'ai extrait deux de ces cristaux. Le plus petit, partiellement altéré, donne, dans la partie transparente, une figure d'interférence biaxe, asymétrique, négative, à angle apparent très ouvert. L'autre, bien plus grand ($4 \times 4^{\text{mm}}3$), est complètement altéré en une matière rose verdâtre, marbrée, à taches claires, rayable à l'ongle, kaolineuse. En l'extrayant de son alvéole, un angle est tombé en poussière; le reste, qui a des arêtes bien marquées et des faces assez luisantes, soumis à l'examen goniométrique, a permis d'établir que ces inclusions sont de l'axinite.

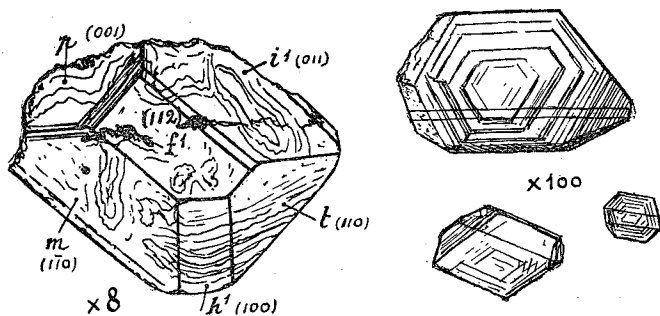


FIG. 34.

J'ai obtenu les mesures suivantes (orientation et désignations de Des Cloizeaux) :

		Mesuré.	Calculé.	
$p = (001)$	$h^1 t$	15°30'	15°35'	
$h^1 = (100)$	$h^1 m$	29° env.	28°59'	
$m = (110)$	$h^1 f^1$	21°35'	21°36'	
$t = (110)$	$t f^1$	28° env.	28° 0'	
$i^1 = (011)$	$f^1 p$	37° env.	36°30'	
$f^1 = (112)$	$f^1 i^1$	15°56'*	16° 5'	} * Moyennes des angles avant et arrière.
	$f^1 m$	33°23'*	33°18'	
	$m p$	45°27'	45°12'	
	$t i^1$	30°13' env.	30°32'	

D'autres minéraux cristallisés se voient encore dans les lames minces de ces quartz, mais, à part la tourmaline et la chlorite, ils sont de dimensions trop minimales pour que leur détermination puisse être faite avec certitude.

CONCLUSIONS ET REMARQUES RELATIVES AU DYNAMO-MÉTAMORPHISME.

J'associe, dans ces conclusions, aux remarques qui découlent des faits qui viennent d'être énumérés, quelques considérations relatives au dynamo-métamorphisme, comme suite à mon mémoire sur la déformation des phyllades ardennais. Les deux ordres de recherches se tiennent par plusieurs côtés, entre autres par la présence des mêmes minéraux dans toutes ces roches.

On pourrait poursuivre sur la plupart des affleurements de quartzites et de schistes de la province des observations analogues à celles qui précèdent, dans le but de démontrer combien facilement les oxydes de titane cristallisés, pour ne parler que de ces minéraux, se forment par l'altération de composés titanifères, sous l'action des eaux superficielles chargées de principes divers fournis par ces roches et par les roches voisines.

Les réactions en œuvre sont compliquées; les expériences ne nous permettent pas de les expliquer toutes. Autant la chimie agit d'ordinaire avec violence et rapidité, autant la nature procède avec calme et lenteur. Un grand nombre de synthèses sont, pour ce motif, sans application aux minéraux dont elles tentent d'éclairer l'origine. Presque toutes sont le fruit de réactions activées par la chaleur, alors que la plupart des minéraux sont susceptibles de naître aussi bien par voie aqueuse — les expériences permettent de l'entrevoir — que par voie hydrothermale ou ignée. Pour le premier mode de formation, le temps est un facteur dont nous ne disposons guère.

Les géologues-chimistes du siècle passé semblent avoir eu une intuition plus juste, de cette patiente chimie naturelle, que nous. Constatons, cependant, qu'il ne manque pas, aujourd'hui aussi, d'esprits libres de ce préjugé qui fait voir la nature non comme elle est, mais comme l'exigent les théories à la mode. C'est ainsi qu'à propos de l'analyse

de l'eau de l'ardoisière de Vielsalm, M. De Koninck en arrive à se demander si les conditions qui présidèrent au développement des minéraux que l'on rencontre dans cette région étaient fort différentes de celles qu'on y trouve actuellement. Il remarque ce qui suit :

« Pour la plupart des minéraux au moins, on est tenté de répondre » affirmativement. Et pourtant, il faut l'avouer, rien n'est prouvé à cet » égard. On pourrait admettre que, sous l'influence d'une circulation » lente, mais continue d'eaux plus ou moins chargées de principes » minéraux, les modifications que nous appelons métamorphiques » s'opèrent, extrêmement lentement à la vérité, dans les conditions de » pression et de température auxquelles sont soumises les masses miné- » rales auxquelles nous pouvons atteindre.

» On sait que si l'on abandonne une substance amorphe ou micro- » cristalline dans un liquide susceptible d'en dissoudre une petite » quantité, la cristallisation se produit ou se marque davantage à la » longue. Je serais fort porté à croire que quelque chose d'analogue se » passe encore de nos jours dans les roches, même les plus anciennes, » surtout dans celles qui jouissent d'une certaine porosité.

» Pour que cette hypothèse soit plausible, il faut évidemment que » les eaux qui circulent dans un terrain déterminé tiennent en solu- » tion, ne fût-ce qu'en quantité infinitésimale, la plupart des » éléments qui entrent dans la constitution des minéraux que le ter- » rain renferme.

» C'est le cas pour les phyllades de Vielsalm. »

C'est aussi le cas pour les quartzites et les schistes du Brabant. Les observations semblables à celles que ce travail expose et qui ont été répétées dans bien des pays nous obligent à l'admettre, car rien n'y révèle l'intervention de la chaleur, sèche ou humide, tandis que tout y parle de l'action paisible et prolongée de solutions diluées, à température ordinaire.

Je suis porté à étendre ces remarques plus loin encore, jusqu'à la discussion de l'origine de nos phyllades à coticule et autres, où nous retrouvons précisément les minéraux titanés et le rutile associés à de la tourmaline, de l'apatite, de la pyrite, de la magnétite, du grenat, dont l'origine s'explique de façon moins hasardée par une sorte de lente macération (*diagénèse* de Gumbel et de Walther) précédant leur consolidation, qu'en faisant intervenir une action transformatrice ultérieure, le dynamo-métamorphisme par exemple.

C'était aussi la manière de voir de Renard, avec qui je me trouve être d'accord, après avoir étudié les phyllades à coticule dans une

direction différente. En effet, le consciencieux observateur s'exprimait ainsi :

« Nous admettons pour le coticule et pour le phyllade que les éléments cristallins qui le composent sont bien là dans leur lieu d'origine, et qu'ils ont pris naissance très probablement lors du dépôt de ces sédiments. Nous sommes porté à considérer ces roches comme le résultat d'une cristallisation directe au sein de la mer salmienne, dont les sédiments de composition minéralogique alternante étaient tantôt ceux qui devaient donner les bandes de coticule, tantôt ceux qui devaient former les couches de phyllade oligistifère. »

Le savant lithologiste ne pouvait toutefois échapper complètement à l'influence des conceptions métamorphiques alors toutes-puissantes. Elles lui dictèrent la note suivante, insérée à la même page :

« Nous ne prétendons pas affirmer que, dans tous les cas, le grenat, par exemple, n'est pas dû à une action métamorphique... [Dans les quartzites des environs de Bastogne] renfermant à la fois le *Spirifer macropterus* et *Chonetes sarcinulata*, les grenats associés aux fossiles... sont dus à une action métamorphique postérieure au dépôt » (*Coticule*, p. 58).

Nous aurions donc deux modes d'origine du grenat dans nos roches : l'un, suivant lequel le minéral cristalliserait dans une sorte de boue quartzo-micacée titanifère; l'autre, où sa formation dépendrait d'un métamorphisme intense. Le point de départ de cette distinction, dont je ne vois pas la nécessité, est établi par le passage suivant, extrait d'un travail ultérieur sur les roches de Bastogne, où Renard accentue encore les termes de la note ci-dessus :

« La présence des restes organiques, qui se trouvent même au milieu des couches où les modifications ont laissé la plus profonde empreinte, vient... montrer avec la dernière évidence l'influence métamorphique à laquelle le terrain fut soumis... Quel partisan de la cristallisation directe ou de la diagenèse oserait soutenir que ces organismes vivaient dans un océan dont les sédiments se transformaient en partie en grenat et en amphibole! »

Pourtant, il semble que l'auteur éprouve une certaine peine à abandonner totalement les conclusions auxquelles les roches à coticule l'avaient amené. Une restriction lui paraît nécessaire; il l'exprime ainsi :

« On peut toujours se demander si nous sommes en présence d'une recristallisation pure et simple, ou s'il s'est fait un nouvel apport de substance. Ce doute ne sera point levé aussi longtemps qu'on n'aura

» pas fait l'étude chimique et microscopique comparée des roches taunusiennes normales. »

Cela équivalait à reléguer le métamorphisme dynamique au second plan ; pour en finir, Renard fait pencher la balance en faveur de celui-ci lorsqu'il dit :

« Quoi qu'il en soit, les modifications des roches que j'ai étudiées trouvent surtout leur explication dans les propriétés que possèdent les solides de se souder, de réagir chimiquement et de prendre une structure cristalline sous l'influence de la pression, comme l'ont si bien mis en lumière les expériences de M. Spring. » (*Roches grenatif.*, pp. 50 et suiv.)

En étendant les résultats obtenus par la compression de certains corps aux éléments des roches, Renard faisait de ces importantes expériences l'application hâtive sur laquelle j'ai déjà attiré l'attention. Comme tant d'autres auteurs, il leur donnait une portée qui dépassait certainement celle que M. Spring leur a assignée avec la netteté caractérisant ses écrits. Je ne saurais mieux l'établir qu'en laissant la parole au savant chimiste, dans les extraits suivants, empruntés à un article, dont le titre : *La plasticité des corps solides et ses rapports avec la formation des roches*, définit bien le sujet. Les italiques sont de M. Spring.

« Pour s'assurer, par l'expérience, si des solides autres que la glace, sont doués de la faculté de se souder, il suffit d'exalter, chez eux, les conditions dans lesquelles le *regel* se produit. Ces conditions sont la pression, la température et le temps... »

Le compresseur servant aux expériences réalisait des pressions de dix mille atmosphères et pouvait être chauffé.

« Les premiers essais montrèrent que tous les corps doués de la faculté de se déformer sous pression, sans se briser, s'agglutinent aussi solidement que s'ils avaient été liquéfiés, tandis que ceux dont la malléabilité ne se révèle pas sous une forte pression demeurent à l'état pulvérulent. »

Or, comme les éléments constitutifs des roches appartiennent surtout à la deuxième catégorie, il s'ensuit que :

« La condition de la solidification des roches ne peut donc se trouver exclusivement dans la compression. »

Suivent les expériences relatives à la formation d'alliages par compression de métaux pulvérisés, ainsi qu'à des combinaisons chimiques, des interdiffusions, des molécules mises en contact plus intime par la pression, lorsque

« le volume du produit de la combinaison de deux ou de plusieurs

» corps est plus petit que la somme des volumes des éléments non combinés ».

La température résultant de la compression était négligeable : de la poudre à tirer n'a pas explosé; de la phorone (point de fusion + 28°) ne s'est pas liquéfiée.

« Tous ces résultats nous disent — continue M. Spring — pourquoi » la pression seule des dépôts sédimentaires n'a pu causer la solidification des roches : c'est que la plasticité et la faculté de diffuser font défaut aux constituants des alluvions. Mais la nature a peut-être mis en jeu un facteur dont nous n'avons pas encore tenu compte : l'humidité. »

L'essai d'agglutiner du sable au moyen d'une solution d'acide silicique ayant échoué, parce que la silice s'était craquelée autour des grains sans les coller, on eut recours

« à une pression légère, mais continue, de façon à suivre le retrait » de l'acide silicique [ce qui a produit] un commencement de solidification. Si le résultat laissait encore à désirer, au moins prouvait-il la possibilité d'obtenir des produits parfaits... peut-être en laissant au temps un rôle plus important ».

CONCLUSION :

« En résumé, si le phénomène du *regel*... n'est pas particulier à la glace, il n'a cependant pas joué, dans la formation des roches, un rôle que l'on puisse rapprocher de celui qu'il remplit dans l'histoire du glacier. »

Ceux qui font intervenir ces expériences dans les discussions géologiques ont fréquemment franchi les limites que leur assignent les écrits du savant qui les a exécutées. M. Weinschenk, au Congrès de Paris, s'est déjà élevé contre cet abus. M. Spezia a également remis les choses au point en établissant, par des expériences de longue durée, que certaines réactions importantes pour la genèse des roches ne sont nullement favorisées par la pression.

Mais alors, demandera-t-on, la pression n'a donc aucune place dans les théories actuelles? — Au contraire, est la réponse que donnent les travaux les plus récents consacrés aux schistes cristallins; notamment ceux entrepris en commun par MM. Becke, Berwerth et Grubenmann.

Ces publications étant encore peu répandues, je crois rendre service à nos collègues, en puisant les notes suivantes dans l'exposé si clair de M. Grubenmann; en même temps, j'espère échapper ainsi au reproche de partialité dans mes appréciations sur le métamorphisme dynamique.

270 kg. par cm^2 à mille mètres de profondeur; de 2700 kg. — cm^2 , à dix mille mètres, etc.

Toutes les directions sont également influencées, d'où tendance aux structures non orientées, grenues. En vertu de la théorie des constantes capillaires de Curie, les petits grains se dissolvent et nourrissent les gros. La métamorphose est lente, la pression hydrostatique allant à l'encontre de la mobilité des molécules.

Dans le deuxième cas, il y a orientation et formation de minéraux lamellaires, respectivement prismatiques. La pression dynamique a les conséquences suivantes :

- a) des dislocations en grand, plissements, etc., naissent;
- b) les résistances au frottement sont vaincues; de la chaleur est produite;
- c) les roches sont mécaniquement modifiées;
- d) les transformations chimiques sont sollicitées et favorisées.

Plusieurs de ces modifications sont souvent mentionnées en lithologie : extinction onduleuse du quartz; glissement des lamelles de minéraux clivables (calcite); macles polysynthétiques (calcite, feldspath); broyage partiel avec mortier entre les débris (*Mörtelstruktur*); broyage uniforme (*Kataklasstruktur*); enfin, disposition des débris en lentilles et développement de la schistosité par cataclase.

Cette métamorphose est non seulement sous la dépendance de la loi des volumes rappelée tout à l'heure, mais, en outre, elle est régie par le principe de Riecke, que voici en peu de mots : Si dans une solution saturée d'un corps se trouvent deux prismes de cette même substance, et que l'un est soumis à un effort (traction, compression), il se dissoudra et permettra à l'autre prisme de grossir d'autant.

Appliquant ces lois aux roches sous pression, on admet qu'il se produit dans leur sein de ces déformations sans ruptures (*totalemtent différentes du « flux »*), de ces échanges dont Heim a déjà fait usage pour expliquer les sécrétions qui remplissent les interstices de la dolomie plissée du Rôthi (p. 461 de mon précéd. mém.). Les roches se comporteraient *apparemment* comme si elles étaient plastiques; elles acquerraient des structures *analogues* à celles qu'elles auraient prises en fluant. Des petits cristaux prismatiques, recevant la pression en bout, vont être dissous à leurs deux bases et régénérés dans les directions perpendiculaires de moindre pression; ils deviendront lenticulaires, lamellaires, linéaires (*scheinbare Streckung*). Ce processus agissant sur tous les éléments de la roche, il en résultera une schistosité de cristallisation (*Kristallisationsschieferung* de Becke). La loi des

volumes interviendra, naturellement : les feldspaths potassiques donneront de la séricite écailleuse ; les amphiboles, de la biotite foliacée ; le labrador, de l'albite lamellaire et de la zoïsite bacillaire, etc.

Ceci suffira pour établir que le métamorphisme dynamique, tel que l'entendent MM. Becke, Berwerth, Grubenmann et leur école, a le mérite de s'appuyer sur certains faits établis de la physique moléculaire. La pression joue, dans leur théorie, un rôle médiateur bien précisé. Pourtant, il semble que ce rôle soit difficile à dégager nettement des observations ; l'on voudrait voir dans les travaux qui appliquent ces vues, moins de formules et de néologismes et plus de descriptions détaillées montrant la marche des transformations. Quelques remarques relatives à celles-ci et à l'extinction onduleuse du quartz sont exposées dans une note additionnelle (II).

L'avenir dira jusqu'où la voie dans laquelle s'engagent ces savants de haute compétence est à suivre. En attendant, on ne peut qu'appuyer la proposition de M. Grubenmann (II, p. 2) de supprimer l'expression « dynamo-métamorphisme », parce qu'on s'est habitué à la rattacher aux phénomènes purement mécaniques, et de la remplacer simplement par le terme « métamorphisme ».

La théorie nouvelle qui vient d'être rappelée, n'est pas applicable à certaines de nos roches que j'ai étudiées, celles du Salmien entre autres, car la pression orogénique a modifié leur structure *après* qu'elles avaient acquis leur composition définitive. Elles ont tous les caractères de sédiments soumis à des transformations chimiques, pendant qu'ils étaient boueux et durant un temps que l'on est porté à évaluer en dessous de sa durée réelle. Des strates de nature différente se sont superposées ; des éléments ont diffusé de certaines couches dans d'autres ; des réactions se sont achevées sous la seule pression de l'eau océanique. C'est de la « diagénèse », du « pourrissage » comparable à celui qui, dans les mers actuelles, sous une pression de centaines d'atmosphères, sous une température voisine de zéro et sans inconvénients pour les organismes, décompose les roches éruptives et les transforme en argile rouge chargée de silicates cristallisés (zéolithes), que le laboratoire ne produit que rapidement et en faisant intervenir la chaleur. Le carbonate de calcium se dissout ; les phosphates organiques, les oxydes de manganèse et de fer concrétionnent. Ces derniers concentrent aussi d'autres éléments, que le spectroscope décele (Li, Va, Ti, Tl, etc.).

Il ne faut que peu de chose, en somme, pour que cet ensemble de réactions soit changé. Dans la mer Noire, par suite de conditions

locales, peut-on dire, que M. Androussow a fait connaître, la vie (sauf les bactéries) est impossible en grande profondeur (2,000 m. environ), à cause de la formation abondante d'hydrogène sulfuré. Les boues sont noires ou bleues; le carbonate de calcium reste et concrétionne; l'oxyde de fer (et de Mn) qui, à moindre profondeur, forme également des concrétions dans cette mer, constitue du mono- et du bisulfure de fer (FeS et FeS_2), ce dernier sous l'aspect de « clous »; des globules de sulfure se constituent à l'intérieur des diatomées. Ce sont là, évidemment, des indications sur l'origine des mêmes globules que j'ai signalés dans certaines diatomées éocènes du Jutland; sur celle de l'espèce d'enduit galvanoplastique pyriteux qui recouvre ces fossiles et ceux des schistes anciens; enfin, sur la genèse des cristaux de pyrite dont les phyllades sont parsemés.

Les oxydes de fer et de manganèse se mettent en évidence aussi bien dans les sédiments anciens que dans les dépôts modernes, avec des modes de précipitation différents toutefois. Le rutile, qui abonde dans les premiers, se forme, on l'a vu, à température ordinaire, et l'oligiste, qui l'accompagne si souvent, je l'ai trouvée, en cristaux, sur d'anciennes armes franques, dans des conditions excluant l'intervention de la chaleur. De Sénarmont a reproduit ces deux espèces minérales par voie humide, en vase clos, à des températures voisines de 200°; constatons que la nature arrive à un résultat identique, avec des solutions diluées et du temps. En admettant que les paillettes que j'ai observées sur les objets anciens aient demandé deux mille ans pour se former, cette durée disparaîtrait devant les chaînes de siècles que la Géologie considère. D'ailleurs, les cristaux des schistes étant microscopiques, ne peuvent avoir exigé un temps de formation considérable.

Lorsque j'ai publié l'observation qui précède, j'ignorais qu'elle avait été faite depuis longtemps par Becquerel, dont les recherches synthétiques mériteraient certainement d'être reprises. Il importe de citer le passage tel qu'il se trouve dans une intéressante note relative à l'origine de certains minéraux, signée du professeur Fournet :

« M. Becquerel a découvert, dans les fondations d'un vieux château, »
» plusieurs barres de fer presque entièrement oxydées et transformées »
» en fer hydraté, en fer magnétique et en peroxyde. Ce dernier offrait »
» des cristaux dont l'aspect au microscope était le même que ceux de »
» l'île d'Elbe, et le fer magnétique était pareillement très bien cris- »
» tallisé. »

Du reste, point n'est besoin de recourir à ces observations pour enlever à deux minéraux caractéristiques de nos roches, la magnétite

et le grenat, le privilège d'indicateurs du métamorphisme dont ils jouissent, de façon incontestée, depuis Dumont. M. Morozewicz, que son travail remarqué sur la formation des minéraux dans le magma défend contre le soupçon de « neptunisme » outré, vient d'établir, par une discussion chimique et pétrographique approfondie, que la montagne magnétique Atatsch, et ses voisines, sont constituées de magnétite (avec oligiste) provenant de la décomposition de roches cristallines éruptives. Une kaolinisation intermédiaire y a donné naissance à de véritables roches à grenats, avec chlorite et épidote. Tous ces minéraux sont cristallisés; tous sont nés « par une concentration hydrochimique éluviale » (p. 260), par une décomposition dépendant « de la seule intervention des eaux atmosphériques et d'infiltration » (p. 128). Le consciencieux travail de Spurr sur les minerais de fer de la Mesabi Range, est un autre bel exemple de formation de $Fe_3 O_4$ par des *metasomatic processes*.

Nos schistes renferment parfois de la pyrite mélangée aux cristaux de magnétite, association qui rend boiteuses certaines déductions des partisans du métamorphisme dynamique, ainsi que M. Gosselet s'en est probablement rendu compte lorsqu'il a écrit :

« On admet, en général, que la magnétite est un minéral métamorphique. On la trouve, en effet, dans le voisinage des roches éruptives » et, dans l'Ardenne, elle se montre dans beaucoup de cas de métamorphisme local. Il serait cependant téméraire d'affirmer qu'il n'a pas pu se produire des cristaux d'aimant, comme des cristaux de pyrite, en dehors de toute action métamorphisante. » (*L'Ardenne*, p. 765.)

Mais l'idée du métamorphisme domine trop l'éminent géologue pour qu'il s'arrête à ce doute; il l'écarte immédiatement par cette remarque :

« Cependant, dans l'incertitude, je maintiens à la magnétite une origine métamorphique et je la considère même comme un des premiers degrés du métamorphisme des roches colorées en vert clair par des sels de protoxyde de fer. »

Ce n'est là qu'une supposition ! J'en dirai autant de ces transformations que causerait l'eau surchauffée produite lors des dislocations, car semblable hypothèse n'est appuyée par aucune preuve. Et ce n'est pas le chapitre que Daubrée consacre à cette question dans sa *Géologie expérimentale* (p. 466) qui en fournit une; il ne contient que des présomptions, que l'on s'est plu à amplifier jusqu'au dogme.

Vingt années après l'apparition de ce livre, qui marque une date dans notre science, M. Rosenbusch pouvait encore dire :

« Nous considérons la pression comme facteur actif dans la dynamo-

» métamorphose, laissant ouverte la question de savoir si elle agit
» directement comme telle, ou de façon médiate, par élévation de
» température par exemple. Qu'elle ait une action transformatrice
» directe sur la structure des roches éruptives (écrasement, broyage,
» glissement, étirement, schistosité), cela est indubitable; — qu'elle
» ait aussi une action indirecte, chimique, cela n'est pas établi, mais
» c'est probable. » (*Elemente*, § 67.)

Depuis lors, la probabilité n'a pas cédé à la certitude, semble-t-il, du moins en ce qui concerne les éléments des roches. Quant à la température, les expériences de M. Spring confirmèrent dans la suite, que sous une pression lente, donc assimilable à celle que l'on admet pour les phénomènes orogéniques, la chaleur développée est inappréciable.

J'ai déjà rappelé que les cristaux de certaines espèces minérales des schistes sont excessivement petits. Renard mesure, dans les coticules, des grenats ayant $0^{\text{mm}}02$ de diamètre; il évalue leur nombre à cent mille par millimètre cube. Les fins coticules de Regné m'ont montré des granules dix fois plus petits de ce minéral, et si serrés, qu'en estimant leur quantité à plusieurs millions par millimètre cube, je ne commets nulle exagération. Comment veut-on que des actions telles que celles que l'on attribue au dynamo-métamorphisme créent un semblable précipité — car ce doit être cela — dans des couches épaisses de quelques centimètres au plus, intercalées au milieu de masses de composition analogue et soumises aux mêmes influences?

Les « noyaux » d'ottrélite en voie de formation, que la plupart des auteurs ont déjà signalés dans ces roches, sont également les indices d'une cristallisation commençante, qui suppose le repos et la fluidité de la masse, une « digestion » incompatible avec l'hypothèse dynamique. La pression qui est intervenue dans ces réactions ne peut être que celle de l'eau surmontant le sédiment.

Quels étaient les bassins dans lesquels ces dépôts se sont élaborés? Étaient-ils profonds, alimentés par des eaux chaudes ou froides? Chercher à répondre équivaudrait à entrer dans le domaine des conjectures et je crois inutile de m'y aventurer après l'exposé des faits qui précède.

Qu'il s'agisse de roches cristallines de l'Oural ou de Quenast, de quartzites du Brabant, de l'Allemagne ou d'ailleurs, partout l'énergie chimique de l'eau, exaltée par les phénomènes osmotiques et capillaires qui accompagnent sa circulation, ainsi que par la durée de son action, se met en évidence; partout, les corps, même très résistants, sont décomposés jusque dans les canalicules les plus fins (asbeste, axinite de Que-

nast). Des effets analogues devaient se manifester sur une large échelle, aux âges primaires, lorsque les boues à peine tassées, d'où sortirent nos roches, étaient imprégnées par des eaux dont la pression s'accompagnait peut-être d'une température plus élevée que celle des océans actuels; surtout, qu'à l'aurore des sédimentations, celles-ci s'effectuaient avec des matériaux plus frais, plus riches en éléments de toute nature, qu'aux âges suivants.

Les roches du Brabant contiennent la plupart des minéraux qu'on rencontre dans celles de la région salmienne, mais en proportions différentes. Les éléments des principaux quartzites sont d'origine détritique. Pendant la macération qui précéda leur durcissement définitif, des sulfures cristallisés, un peu d'ilménite (veinules à Opprebais), des grains isolés de rutile, des carbonates s'y développèrent.

La métamorphose par imprégnation siliceuse et pression des couches surincombantes, qui amena la solidification de ces masses, s'explique par l'une des ingénieuses expériences de M. Spring.

Les schistes intercalés et associés participent de la même origine. Une partie, au moins, de la tourmaline qu'on y trouve doit être secondaire, puisque ses petits prismes englobent le zircon roulé, détritique, et les microlithes de rutile (Nil, Opprebais). Suivant Dewindt, l'abondance d'ilménite constitue le caractère distinctif de ces schistes; mes observations sont confirmatives à cet égard. Leur faible teneur en rutile, alors que ce minéral abonde dans l'Ardenne, indique vraisemblablement une sédimentation et une consolidation plus rapides, peut-être au sein d'une eau moins active que dans le Sud.

Plusieurs de mes observations montrent que certains schistes brabançons ne renferment pas d'ilménite, mais de l'anatase; j'ai lieu de croire qu'on en trouvera aussi des exemples dans l'Ardenne.

Les oxydes de titane n'apparurent largement, dans le Brabant, que lorsque l'évolution géologique permit la désagrégation des anciens sédiments durcis. L'eau, arrivant de nouveau en contact avec les éléments de la roche, reprit, sous une autre forme, le travail qu'elle n'avait pu parfaire: les minéraux résistants furent libérés, les autres furent attaqués par elle, l'ilménite notamment, qui avait été préservée de ses atteintes depuis un temps immensurable.

De l'anatase, de la brookite même, se formèrent alors, plutôt que du rutile, une différence qui tenait à peu de chose, puisqu'il arriva que la suite des réactions produisit les trois espèces d'oxydes de titane dans un même gisement (Nil-Saint-Vincent).

La dislocation, le fendillement de ces masses facilitèrent l'infiltration

et la circulation des dissolvants. En même temps, les surfaces soumises à leur influence se trouvèrent augmentées. Telle fut la seule part qui revint aux agents dynamiques dans les transformations dont traite cette étude.

ADDENDA.

I.

Modifications que subissent les inclusions liquides par la préparation. — Il est prudent de répéter certaines observations relatives à ces objets sur des pièces n'ayant pas subi le traitement violent que nécessite le procédé habituel de préparation des lames minces.

J'ai décrit ailleurs les transformations qui s'étaient opérées dans une inclusion à deux liquides, d'un spinelle, exposé à une température trop élevée; en voici un autre exemple facile à vérifier. On cite souvent, comme une curiosité, l'observation de Brewster sur un échantillon de sel gemme de Cheshire, dans lequel les inclusions privées de bulle en avaient acquis une après chauffage. Or, les choses se passent toujours ainsi. Dans les nombreux échantillons de sel que j'ai examinés sans autre préparation que le clivage, j'ai constaté que les plus grandes inclusions seules contiennent une bulle; mais toutes celles qui n'en ont pas, la possèdent après chauffage modéré. L'essai, répété une fois encore à propos du présent travail, a donné le résultat suivant :

Une lame de sel de Bernbourg montrait des enclaves sans bulle; trois d'entre elles, à contour largement souligné d'un liseré sombre, mesurant environ 0^{mm}6, 0^{mm}4 et 0^{mm}2, furent particulièrement observées. Après un premier chauffage, elles avaient reçu chacune, comme toutes les autres vacuoles de la pièce, une bulle, très mobile lorsqu'on inclinait le microscope. Un deuxième chauffage ayant paru augmenter le diamètre des bulles, celles-ci furent mesurées avant de procéder à une troisième application de la chaleur. Cette troisième chauffe fut poussée jusqu'à l'ébullition du baume fluide noyant la pièce. Les diamètres des bulles avaient les valeurs ci-après, en millimètres :

Avant troisième chauffe.	Après.	Rapports.
0,189	0,230	1,216
0,110	0,132	1,200
0,059	0,073	1,237

L'augmentation de volume, qui s'est maintenue depuis, s'est donc effectuée à peu près dans le même rapport pour toutes les bulles; celles-ci ont conservé leur mobilité lorsqu'on incline le microscope.

Chaque refroidissement ne faisait pas apparaître qu'une bulle, mais plusieurs, qui partaient de divers points des petites cavités pour se réunir rapidement en une seule. Cela indique l'infiltration de minimes parties du liquide dans d'invisibles fissures des parois des enclaves.

Des phénomènes de ce genre sont peut-être possibles dans des minéraux plus durs que le sel.

II.

Remarques sur la cristallisation sous pression et l'extinction onduleuse.

— Sous l'influence d'une différence de pression, une partie de la substance d'un même cristal peut se dissoudre en certains points et se déposer en d'autres (Thomson, *in* Lehmann). Une transformation analogue se produit, suivant Hagenbach (*ibid.*), dans la glace des glaciers, dont chaque grain, qui était composé d'un seul individu très petit dans le névé, finit par acquérir des centimètres de diamètre (jusque un décimètre) en se déplaçant par l'écoulement du glacier. Ne semble-t-il pas que pour les roches, où les grains se touchent et s'enchevêtrent, il faille les supposer mobiles (cas du glacier) pour leur permettre de s'accroître? D'autre part, on aurait alors quelque peine à comprendre pourquoi il ne se constituerait pas, comme dans les glaciers, de très gros grains métamorphiques dans les roches, surtout lorsqu'un élément domine. Il y a là des difficultés que la théorie proposée ne résout pas.

Quant à l'extinction roulante ou onduleuse, elle n'est pas une preuve certaine de compression. Je ne puis qu'appuyer les réserves exprimées par M. Zirkel à cet égard (I, pp. 59 et 610). Un cube de quartz, de 1 centimètre de côté, montre, sous une pression de quelques dizaines de kilogrammes, une déformation de la figure axiale, qui devient nettement elliptique, de circulaire qu'elle était. Dans des roches où les conséquences de la compression sont évidentes (porphyroïde des Ardennes, à feldspaths écrasés), le quartz a des extinctions onduleuses; mais, si l'on considère une coupe à la fois assez oblique pour montrer encore ce caractère et assez peu inclinée sur l'axe pour donner la figure d'interférence, on voit que celle-ci n'est pas déformée. Les quartz libres, développés dans des solutions épaissies par des corps étrangers (*Eisenkiesel*), ont des extinctions troublées; elles

s'observent encore dans les quartz de remplissage. Les expériences entreprises par Renard et M. Stöber, pour s'éclairer sur le mode de formation des météorites pierreuses, ont permis la transformation, par compression à 6 000 atmosphères, d'un grès cristallisé en un grès clastique, mais les extinctions roulantes manquaient dans le produit obtenu. Renard cherche à s'expliquer ce résultat négatif par la courte durée de l'essai (trois heures) et la minceur insuffisante des préparations.

Laboratoire de Minéralogie et de Géologie de l'Université
de Bruxelles, août 1907.

OUVRAGES CITÉS OU CONSULTÉS

Liste faisant suite à celle qui a été donnée antérieurement; elle ne mentionne, comme la précédente, que les travaux principaux.

- ANDROUSSOW, N., La mer Noire. (*Guide des excursions du VII^e Congrès géol. intern.* [Saint-Petersbourg], Note XXIX, 1897.)
- BECQUEREL, A., Le passage cité se trouve dans une communication de M. Fournet à la Société philomatique de Paris insérée, sous la rubrique *Géologie*, dans le journal *L'Institut*, n^o 522, 1843.
- CAYEUX, L., Structure et classification des grès et quartzites. (*Congrès géologique.* [Mexico], 1906.)
- CESÀRO, G., Anatase de Nil-Saint-Vincent }337{. (*Ann. Soc. géol. de Belgique*, 1887-1888.)
- La prehnite de Quenast. (*Ann. Soc. géol. de Belgique*, t. XVIII, 1891.)
- Le mispickel de Nil-Saint-Vincent. (*Bull. Acad. roy. de Belgique*, 1896.)
- Monazite de Nil-Saint-Vincent (*in* Description des minéraux phosphatés, etc.). (*Mém. Acad. roy. de Belgique*, t. LIII, 1897.)
- Rapport relatif à la forme nouvelle }449{ de l'anatase observée à Nil-Saint-Vincent par M. Prinz. (*Bull. Acad. roy. de Belgique*, 1907.)
- CURIE, P., Sur la formation des cristaux et sur les constantes capillaires de leurs différentes faces. (*Bull. Soc. minéral. de France*, t. VIII, 1885.)
- DE KONINCK, L.-L., Sur l'octaédrite de Nil-Saint-Vincent. (*Bull. Acad. roy. de Belgique*, 1878.)
- A propos de l'eau des ardoisières de Vielsalm. (*Ann. Soc. géol. de Belgique.* [Liège], t. VI, p. xcix, 1879.)
- DEUCHAR, J., Explication de l'existence de l'eau dans l'intérieur de quelques cristaux. (*Ann. de Chim. et de Phys.*, t. XXI, p. 220, 1822.)
- FOUQUÉ, F., et MICHEL LÉVY, Synthèse des minéraux et des roches, 1882.
- FRANCK, A., Notice cristallographique sur la monazite de Nil-Saint-Vincent. (*Bull. Acad. roy. de Belgique*, 1891.)
- GOSSELET, J., L'Ardenne, 1888.
- GRUBENMANN, V., Die kristallinen Schiefer (II. Spezieller Theil), 1907.
- KROUSTCHOFF, F. (DE), Sur des inclusions singulières dans le quartz, etc. (*Bull. Soc. minéral. de France*, t. VII, 1884.)

- LA VALLÉE POUSSIN, CH. (DE), Sur les cristaux de quartz de la carrière de Nil-Saint-Vincent. (*Ann. Soc. géol. de Belgique* [Liège], t. III, 1876.)
- LEHMANN, O., Molekularphysik, 1888.
- MALAISE, C., Sur un nouveau gisement d'octaédrite. (*Ann. Soc. géol. de Belgique*, 1889.)
- MOROZEWICZ, J., Experimentelle Untersuchungen über die Bildung der Minerale im Magma. (*Tschermaks Min. u. Petrogr. Mitt.*, t. XVIII, 1898.)
- Die Eisenerzlagerstätten des Magnetberges im Südlichen Ural und ihre Genesis. (*Tschermaks Min. u. Petrogr. Mitt.*, t. XXIII, 1904.)
- MÜGGE, O., Die regelmässige Verwachsungen von Mineralen verschiedener Art. (*Neues Jahrb. f. Min.*, 1903.)
- PRINZ, W., Quartz avec inclusions de dolomie (Blanmont, Opprebaix, Nil-Saint-Vincent). (*Bull. Soc. belge de Microsc.*, 1880.)
- Zircon de Nil-Saint-Vincent. (*Bull. Soc. belge de Microsc.*, t. VII, p. cvii, 1880-1881.)
- Les enclaves du saphir, du rubis et du spinelle. (*Ann. Soc. belge de Microsc.*, 1882.)
- Recherches sur la structure de quelques diatomées contenues dans le « Cementstein » du Jutland. (*Ann. Soc. belge de Microsc.*, t. VIII, 1883.) — En collaboration avec M. le Dr E. Van Ermengem.
- Description minéralogique du « Cementstein » du Jutland. (*Bull. Soc. belge de Microsc.*, t. XI, 1885.)
- Sur des cristaux d'oligiste formés sur d'anciennes armes de fer. (*Bull. Acad. roy. de Belgique* [3], t. XIII, 1887.)
- Sur la monazite et le xénotime de Nil-Saint-Vincent. (*Bull. Acad. roy. de Belgique*, 1904.)
- La déformation des matériaux de certains phyllades ardennais n'est pas attribuable au « flux » des solides. (*Bull. Soc. belge de Géol.* [Bruxelles], t. XIX, 1905.)
- Sur une forme nouvelle {449} de l'anatase observée à Nil-Saint-Vincent. (*Bull. Acad. roy. de Belgique*, 1907.)
- RENARD, A., Sur la substance micacée des filons de Nil-Saint-Vincent. (*Bull. Acad. roy. de Belgique*, 1881.)
- Sur le zircon des carrières de Nil-Saint-Vincent. (*Bull. Acad. roy. de Belgique*, 1882.)
- Les roches grenatifères et amphiboliques de la région de Bastogne. (*Bull. du Musée d'Hist. natur. de Belgique*, t. I, 1882.)
- Sur des pseudo-cristaux de quartz affectant la forme de la pyrite arsénicale. (*Bull. Acad. roy. de Belgique*, 1884.)
- Sur le mode de formation des météorites pierreuses (chondrites). (*Bull. Soc. belge d'Astron.*, t. V., 1900.)
- RIECKE, E., Ueber das Gleichgewicht zwischen einem festen, homogen deformierten Körper und einer flüssigen Phase, etc. (*Nachr. Ges. d. Wissensch. Göttingen* [math.-phys. Klasse], 1894.)
- ROSENBUSCH, H., Elemente der Gesteinslehre. 1898.
- Mikroskopische Physiographie der Mineralien und Gesteine, 4^e édit., 1907.
- SAUVAGE, C., et BUVIGNIER, A., Géologie du département des Ardennes, 1842.

SPEZIA, G., Il dinamometamorfismo e la minerogenesi. La pressione è chimicamente inattiva nella solubilità e ricostituzione del quarzo. (*Atti R. Acc. Scienze Torino*, t. XL, 1904-1905.)

Voir aussi les autres *contribuzioni di geologica chimica* de ce savant dans la même publication.

SPURR, J. ED., The iron-bearing rocks of the Mesabi range in Minnesota. (*Geolog. and nat. hist. Surv. of Minnesota* [Bull. N° X], 1894.)

STELZNER, A.-W., Studien über Freiburger Gneisse und ihre Verwitterungsprodukte. (*Neues Jahrb. f. Min.*, 1884.)

STÖBER, F., Notice cristallographique sur l'épidote de Quenast, etc. (*Bull. Acad. roy. de Belgique*, t. XXIX, 18...)

THOMAS, H. H., The mineralogical constitution of the finer material of the Bunter Pebble-bed. (*Quart. Journ. Geolog. Soc.*, t. LVIII, 1902.)

THÜRACH, H., Ueber das Vorkommen mikroskopischer Zirkone und Titan-Mineralien in den Gesteinen. (*Verh. Phys. Med. Gesell. Würzburg*, t. XVIII, 1884.)

WALTHER, J., Einleitung in die Geologie als historische Wissenschaft, 1893-1894.

WEINCHENK, E., Sur le dynamométamorphisme et la piézo-cristallisation. (*Congrès géol. intern. VIII^e session* [Paris], t. I, p. 326, 1901.)

ZIRKEL, F., Die mikroskopische Beschaffenheit der Mineralien und Gesteine, 1873.

— Lehrbuch der Petrographie, 2^e édit., t. I, 1893 ; t. II et III, 1894.

