

OBSERVATIONS

SUR LE

SEL GEMME, BLANC ET BLEU

PAR

W. PRINZ ⁽¹⁾

Professeur à l'Université de Bruxelles.

Les notes qui suivent sont le fruit d'observations faites sur de nombreux échantillons de sel des exploitations Solvay, à Bernburg, que je dois à l'intervention de mon excellent collègue M. E. Tassel. Ils sont venus s'ajouter à ceux de la même localité que M. l'ingénieur Ch. Lefebure a eu l'amitié de me choisir spécialement sur place. Ces matériaux abondants et exceptionnels m'ont permis d'arriver à certains résultats, qui diffèrent de ceux que renseigne la vaste littérature relative à ce minéral; pour l'unité du sujet, j'ajoute, en les résumant, quelques observations déjà publiées antérieurement.

Sel gemme blanc.

Figures de percussion. — Elles se font rarement suivant les faces du rhombododécaèdre {110}, donc suivant des plans à 45° sur les plans de clivage. Les angles opposés de l'étoilement ont 75° environ; j'en ai même obtenu avec des angles opposés de 60° près du sommet, mais s'ouvrant brusquement davantage un peu plus loin.

Considérant les résultats de Brauns sur la sylvine (K₂Cl₂), où l'on obtient des étoilements dont deux angles opposés ont 90° et les deux autres 75° et 104° environ, il est permis de dire que les figures de percussion des deux minéraux sont semblables.

(1) Mémoire présenté à la séance du 16 juin 1908.

La plasticité du sel fait que la pénétration de l'aiguille soulève et fronce, parallèlement aux plans de clivage, les parties voisines de la surface qui se fendent alors suivant les diagonales. Ces fêlures sont limitées en profondeur par des courbes analogues à celles qui se produisent dans un corps amorphe, le verre par exemple (fig. 1).

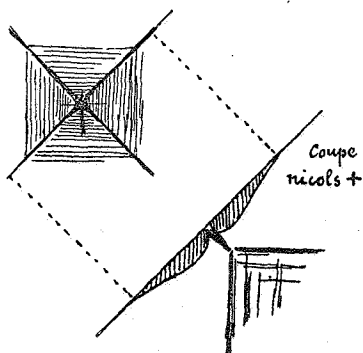


FIG. 1.

En lumière polarisée, les pinceaux lumineux qui suivent les fissures sont à angles droits, quels que soient les angles de l'étoilement. Les lignes lumineuses situées en profondeur, qui partent de la pointe de l'enfoncement produit par l'aiguille, sont aussi fort régulières.

On obtient des faces de décollement plus exactement \parallel à $\{110\}$ en maintenant un solide de clivage de sel avec une de ses arêtes sur un tas en acier, de façon qu'un axe binaire soit bien vertical, et en frappant, au marteau, un coup sec sur l'arête opposée.

La cassure est soyeuse, partiellement conchoïde. Un débris avait, exceptionnellement, des plans nets, permettant de mesurer par réflexion :

$$(100) : (110) = 45^\circ \text{ environ.}$$

Figures de rayure. — Variées de maintes façons, elles donnent, lorsqu'on les trace \parallel aux clivages, des suites de petits triangles isocèles, et non rectangles, comme l'exigerait l'existence de plans $\{110\}$. L'angle ouvert est environ 106 , les deux autres ayant 37° à 38° conformément aux observations de M. Cesàro ⁽¹⁾.

Les sommets des triangles sont dirigés à l'encontre de la direction de la pointe, celle-ci ayant exécuté une série de sauts dont chacun a détaché une petite écaille triangulaire qui est assimilable au quart d'un étoilement de percussion.

La rayure tracée à 45° sur les directions du clivage donne un résultat différent, en apparence, de celui qui précède; ici, c'est la pointe des triangles qui chemine en avant (fig. 3). Lorsqu'on pratique cette rayure

(1) *Figures produites par la rayure sur les clivages du sel gemme, etc.* (ANN. SOC. GÉOL., Liège, 1890.)

en l'observant au microscope, on reconnaît que chaque triangle se compose de deux demi-triangles dont les uns *aaa* correspondent à ceux d'une rayure droite, telle que C de la figure 2, et les autres à une rayure normale à celle-ci. Bref, on a réalisé une succession de demi-étoilements de percussion.

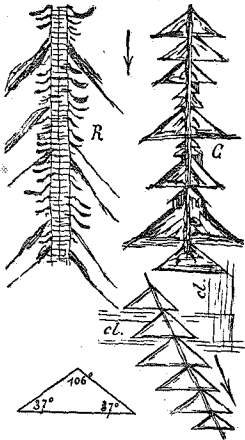


FIG. 2.

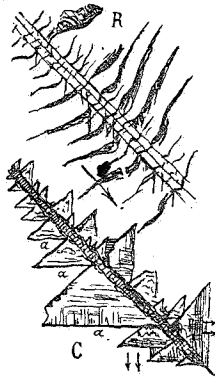


FIG. 3.

Cette rayure ne donne pas de résultats plus précis que les autres. Souvent les côtés de deux triangles voisins, qui devraient se confondre en une seule droite perpendiculaire à la direction de rayure, forment entre eux un angle rentrant, en sorte que les anomalies déjà signalées reparaissent.

Lorsqu'on rapproche ces observations des traces que fournit une roulette à couper le verre sur ce même minéral (voir fig. 2 R), on est tenté d'admettre que le sel se comporte comme un corps amorphe dans la direction des plans $\{110\}$ et que ceux-ci ne sont pas cristallographiquement déterminés, comme le sont les plans de percussion d'autres minéraux.

M. O. Mügge a fait les mêmes remarques dans son beau travail relatif à la translation chez un grand nombre de minéraux. Ce savant considère aussi l'étoilement du sel gemme comme produit par des plans de déchirement (*Reissflächen*). Par contre, il attribue le caractère de plans de translation \parallel à $\{110\}$ aux petites rides visibles sur chacun des triangles soulevés autour du centre de percussion; cela me paraît nécessiter une confirmation ⁽¹⁾.

(¹) *Translationen und verwandte Erscheinungen.* (N. J. F. MIN., 1898.)

Certains faits qui militent en faveur de l'existence de plans de moindre résistance || à } 110 { seront signalés à propos des inclusions liquides et de la microstructure de sel bleu.

Inclusions liquides en général. — Elles sont nombreuses dans le sel de Bernburg et semblables à celles que l'on connaît depuis longtemps (Brewster, Sorby, Zirkel, etc.). Les inclusions liquides fortement contournées contiennent d'ordinaire une bulle sombre; celles qui sont délimitées par un contour fin n'en ont pas, ainsi que Zirkel l'a exactement renseigné. Toutefois, lorsqu'on chauffe, toutes les inclusions reçoivent une bulle et, si l'on renouvelle l'application de la chaleur, ces bulles sont résorbées mais réapparaissent ensuite. La même observation avait déjà été faite par Brewster sur le sel de Cheshire; elle est considérée comme exceptionnelle, alors que les choses se passent toujours ainsi.

Les bulles qui sont naturellement dans l'interposition liquide sont résorbées à une faible température. Pour beaucoup d'entre elles il suffit de la chaleur de la main; la réapparition se fait ensuite assez longtemps attendre. Les inclusions renfermant des corps solides divers sont dans ce même cas (par ex. fig. 7 et 9).

Le liquide inclus contient des substances vraisemblablement organiques. Les échantillons dégagent, lorsqu'on les brise, une très forte odeur définie par cette remarque de Beudant: « l'odeur que répand le sel de Wieliczka, à la sortie de la carrière, est précisément celle que produit la décomposition des méduses rejetées sur les plages ». (*Voyage min. et géol. en Hongrie*, II.)

La présence de substances organiques est confirmée par la coloration brune que prend le liquide de beaucoup d'inclusions, lorsqu'on chauffe un peu vivement les préparations.

Les gaz dégagés du sel gemme furent plusieurs fois analysés; on y a trouvé de l'hydrogène carboné, du gaz des marais, de l'azote, de l'acide carbonique. Remarquable est la venue de gaz grisouteux dans les mines de Saint-Laurent (Meurthe-et-Moselle) que M. Lebrun a signalée à notre Société (*Bull.*, t. XIII, p. 136). Ce « soufflard » a duré un an; il débitait 6 litres à la minute lors de son apparition.

L'analyse a établi que ce gaz était constitué de gaz des marais et d'azote dans la proportion de 1 à 4.

Mes nombreuses préparations ne m'ont montré, en fait de substances solides, que l'anhydrite cristallisée (Ca SO_4), du soufre cristallisé et des flocons, des grumeaux brunâtres. Toutes ces matières sont souvent libres dans les petites cavités. Bien plus rarement on trouve une

vacuole qui contient une aiguille, d'un minéral fort biréfringent, terminée par deux facettes, à extinction droite et allongement négatif, appartenant probablement à un sulfate rhombique. Le spécimen représenté figure 4 est déjà exceptionnel comme dimensions; j'ai pourtant trouvé une inclusion qui contenait une aiguille de $1^{\text{mm}}7$, et terminé aux deux extrémités. Ce même minéral est parfois intercalé entre les lames de clivage du sel et leur communique une vive biréfringence.

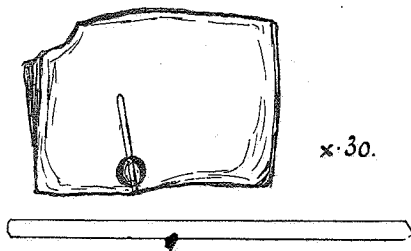


FIG. 4.

On ne trouve jamais de cubes de sel gemme dans les inclusions; mais certaines d'entre elles, à parois craquelées, sont de fait tapissées de petits cubes. Suivant plusieurs auteurs, le liquide serait une solution de chlorures de Mg et de Ca associée aux corps gazeux déjà cités.

Il est remarquable de voir que, dans un même essaim d'inclusions, il y en ait qui renferment des liquides très différents.

Contenu d'une inclusion. — Une cavité d'environ 40 millimètres cubes, ayant une grosse bulle mobile comme la plupart des grandes inclusions du sel, fut ouverte. Au moment où le liquide s'épancha sur un porte-objet, on y voyait des stries irisées rappelant celles que produit du pétrole sur l'eau; elles disparurent bientôt, en même temps que la forte odeur s'évanouissait. Une heure après, la cavité avait pourtant encore une vague odeur de cuir.

La cristallisation se fit rapidement sur le porte-objet, sous forme de petits cubes de sel. Bientôt ceux-ci montrèrent de la biréfringence qui alla croissant; il était évident qu'une deuxième

substance cristallisait lentement. Ce corps finit par constituer des arborescences partiellement incluses dans les cubes, en formant de

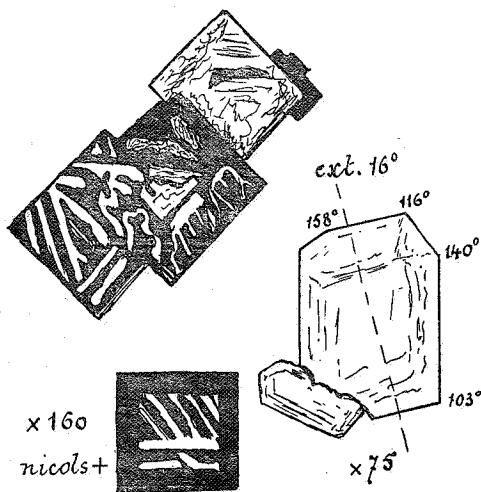


FIG. 5 et 6.

longues plages à extinction unique. Quelques hexaèdres furent ainsi rendus presque entièrement anisotropes (fig. 5).

Des cristaux isolés de la deuxième substance se formèrent ensuite. Ils avaient le contour représenté figure 6, une extinction oblique de 16° environ, un allongement négatif; ils appartiennent donc au système monosymétrique et sont à rapporter, vu leur hygroscopicité, à un chlorure de magnésium.

Cette inclusion contenait donc une solution concentrée de chlorures, mais pas de chlorure de calcium, celui-ci étant hexagonal-rhombodrique.

Inclusion de matières organiques. — On les trouve dans le sel lui-même et, plus fréquemment, dans les cavités avec liquide et bulle. Ce sont des grumeaux brunâtres auxquels sont associés des fils si ténus, qu'on ne reconnaît leur présence qu'aux particules fixées à leur extrémité et qui suivent les déplacements du flocon lorsqu'on incline la préparation. Il en est aussi qui adhèrent à la bulle et roulent avec elle.

Une de ces inclusions, favorablement située pour l'examen sous de forts grossissements, a la forme d'une petite cavité rectangulaire de

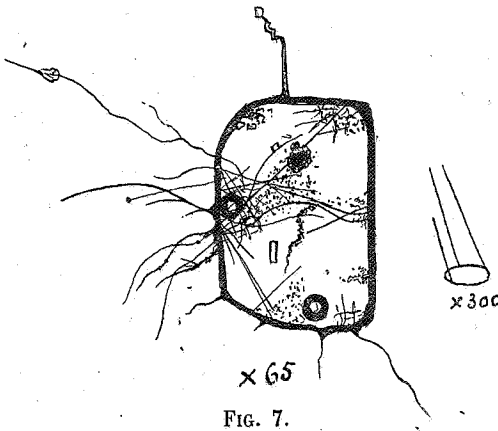


FIG. 7.

moins de $\frac{1}{2}$ millimètre, remplie de filaments, dont certains sont tendus d'une paroi à l'autre (fig. 7).

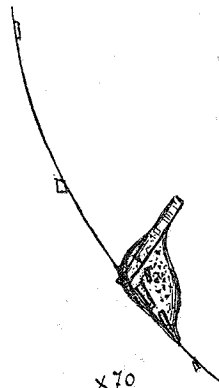
De minuscules cristaux d'anhydrite, substance toujours associée aux flocons vaseux et filamenteux, se voient dans la cavité; ils brillent vivement en lumière polarisée.

Il est remarquable de voir ici les filaments sortir, en grand nombre, de l'inclusion, pour se prolonger dans le sel. Plusieurs d'entre eux sont bifurqués et munis de nodosités. Leur diamètre ne dépasse pas $0^{\text{mm}}0005$ (un demi μ).

En un endroit où les fils sont enchevêtrés, on remarque un minuscule ovale, très net, qu'une forte amplification révèle être un petit cercle régulier vu en perspective et maintenu, en trois points équidistants, par des fils droits (fig. 7). Cet objet n'a que $0^{\text{mm}}02$ de diamètre, mais il est si précis qu'il ne saurait être l'œuvre du hasard.

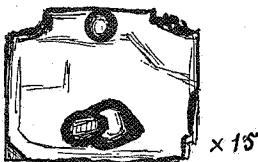
Tous ces détails ne permettent pas de rapporter cette matière filamenteuse à un minéral; elle doit être d'origine organique. Pendant la cristallisation du sel, une gouttelette d'eau mère est restée adhérent à ce petit flocon, car à chaque fil qui passe dans le sel correspond une incurvation marquée du contour de la cavité.

À côté de cette interposition, il y a un fil courbe, assez gros, isolé dans le sel, auquel sont accolés d'infimes bâtonnets d'anhydrite et d'autres, plus volumineux, du même minéral, agglutinés par une sorte de goutte brune, grumelleuse, avec granules extrêmement ténus, biréfringents (fig. 8).

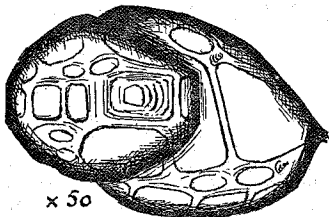
x70
FIG. 8.

Inclusions de soufre cristallisé. — La présence de matières organiques et de sulfate de calcium explique celle du soufre que l'on signale dans les terrains salifères. A Bernburg, ce corps se trouve dans le sel clivable lui-même, tantôt en petits granules cristallins, jaunes, isolés et fixés à un débris informe, noir-brun, vraisemblablement organique; tantôt en cristaux libres dans les inclusions liquides. Isolé par dissolution du sel, il se prête aux essais de détermination.

Une des grandes inclusions de soufre que j'ai vues, se compose de deux petits cristaux accolés, ayant ensemble 0.7 millimètre de longueur et une parfaite transparence. Malheureusement l'objet est coincé dans une inclusion liquide à bulle et il est bordé d'un large liséré sombre, en sorte qu'il n'est pas possible de voir la totalité des nombreuses et brillantes faces qui le couvrent. En lumière réfléchie, on en voit d'autres encore. Elles sont ajoutées sur le croquis, dont le but n'est que de donner un aspect de l'ensemble.



x15



x50

FIG. 9.

C'est aussi au soufre qu'il faut rapporter les globules ovoïdes, brun-jaune, biréfringents et les sphérules parfaitement régulières, opaques, polies, à reflet ambré, que l'on trouve dans

le sel clivable. Les plus grands (1 millimètre) paraissent associés

à une matière bitumineuse, dont on trouve aussi des traces dans les petits cristaux d'anhydrite.

Inclusions à deux liquides. — Ces interpositions se groupent en essaims dont les éléments sont de forme irrégulière, volontiers en boyaux avec des renflements et des bifurcations, analogues à ceux des topazes. Observées dans un débris de clivage non chauffé, elles frappent par la finesse des contours et par la présence de plusieurs globules, souvent deux égaux et accolés, très réfringents, jaunâtres, à indice plus élevé que la matière enveloppante. Dimension : 0.05 millimètre environ.

L'inclinaison du microscope n'amenant aucun mouvement, il y a lieu de s'assurer de la présence d'un ou de deux liquides. En chauffant modérément, la présence d'un liquide se manifeste par le déplacement lent des globules, la préparation étant inclinée. Le sens du mouvement indique qu'ils sont plus légers que le liquide. Leur nombre ne varie pas et ils ne se fusionnent pas.

Après une chauffe plus énergique, ces inclusions acquièrent, selon la règle, une petite bulle et, si l'on a pris soin de noter la disposition de quelques globules, on reconnaît que certains ont reçu une petite bulle fortement contourée; dans d'autres interpositions, celle-ci est apparue dans le liquide entourant. En même temps les globules de quelques interpositions se sont réunis en un seul; ils sont donc également liquides, ou tout au moins visqueux.

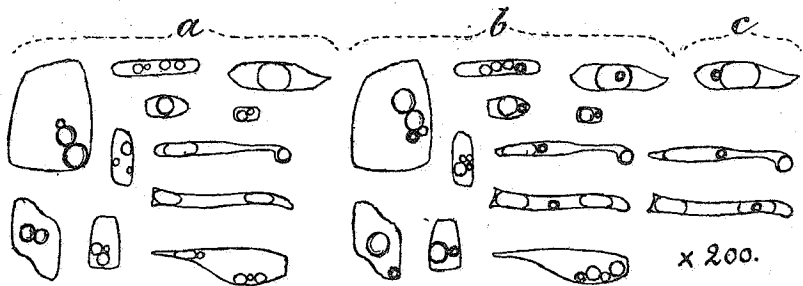


FIG. 10.

La figure 10 représente à gauche (a) un groupe de ces enclaves à l'état naturel, tandis que le groupe de droite en représente un certain nombre après deux chauffages successifs (b et c). Bien que la température n'ait pas atteint 100° dans la préparation, elle a suffi pour déplacer, d'un liquide dans l'autre, les bulles formées par la première chauffe.

La chaleur a aussi modifié les petits cristaux d'anhydrite bleutée

contenus dans la préparation : ils se sont comme enfumés et couverts de ponctuations que la réflexion totale transforme en taches noires (suintement liquide? bulles gazeuses?).

La même cause amena la sortie de matières volatiles, et très expansibles, par une nappe de petites inclusions, perpendiculaire au plat de la préparation. Ce dégagement fut accompagné du dépôt, le long d'une fêlure, de petits cristallites cruciformes dont les branches étaient toutes disposées suivant les diagonales au clivage (fig. 11, à gauche).

Un peu plus réfringents que le baume, ils se montraient isotropes. Au bout de deux jours ils diffuèrent, quoique la préparation fût bien close, et se fusionnèrent à plusieurs pour constituer, après une semaine environ, des paillettes hexagonales et octogonales dans lesquelles on devine des cuboctaèdres (fig. 11, à droite).

En fait, un peu plus loin, on voit des petits cristaux plus volumineux offrant cette combinaison (fig. 11, en bas).

Une partie du liquide chassé sous le verre couvreur par le chauffage, s'est réunie en minuscules gouttelettes isolées, d'apparence huileuse, à indice bien moins élevé que celui du baume, qui devaient être fortement saturées de sels, car quelques-unes ont bientôt donné naissance à un petit cuboctaèdre de sel ou de sylvine (KCl) dont le volume est à celui de la gouttelette supposée sphérique comme 1 : 8 (fig. 11). Ce liquide, que l'on pourrait être tenté d'identifier avec les globules des inclusions à deux liquides, s'en distingue par le signe de l'indice et par sa fluidité; celle-ci est suffisante pour que le cube, qui a continué à croître en perdant ses tronçatures $\{111\}$, se meuve lorsqu'on incline le microscope. Le sens du mouvement indique que le cube est plus lourd.

Influence du chauffage répété sur les inclusions. — L'action de la chaleur sur les interpositions liquides demande à être précisée, ne

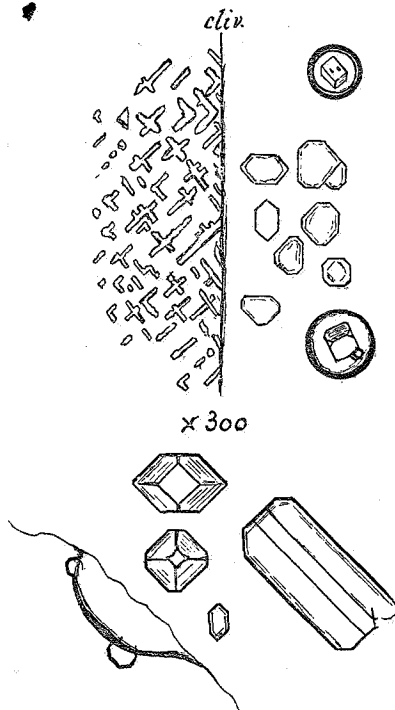


FIG. 11.

fût-ce qu'en vue d'établir quelles sont les modifications dans leur aspect qu'entraîne la préparation en lames minces par les procédés habituels.

Considérons les trois espèces d'enclaves qui sont les plus fréquentes :

- a) finement contourées et sans bulle ;
- b) fortement contourées avec bulle ;
- c) fortement contourées avec ou sans bulle, mais contenant des flocons.

Il est à remarquer que *b* et *c* se comportent à peu près de même et que les inclusions *c*, sans bulle, en acquièrent une après chauffage.

Une cavité *b*, qui a environ 6 millimètres cubes (car il est difficile de tenir compte des rugosités intérieures dans cette mesure), contenait une bulle de 0.76 millimètre de diamètre à température ordinaire. En chauffant la pièce vers 60 à 70°, la bulle était réduite de près de moitié ; vers 100°, elle avait disparu. Au refroidissement, son nouveau diamètre est devenu 0.82 millimètre.

Trois autres cavités voisines, du même genre, qui avaient déjà été chauffées deux fois, ont été mesurées avant d'être soumises une troisième fois à l'action de la chaleur ; celle-ci fut poussée jusqu'à ébullition prolongée du baume noyant la pièce (env. 150°). Les diamètres des bulles passèrent par les valeurs ci-après :

Avant troisième chauffe.	Après.	Rapports.
0.189	0.230	1.216
0.410	0.130	1.200
0.059	0.073	1.237

Toutes se sont donc agrandies dans la même proportion. J'ai constaté, par des mesures prises dans la suite, que l'augmentation de diamètre s'est maintenue.

L'explication la plus plausible de ce changement est qu'une partie du liquide a passé dans les joints du sel.

Certaines de ces inclusions sont pavées de saillies cristallines qui semblent appartenir à la combinaison $\{100\} \{110\} \{111\}$; d'autres troncutures, dans un même groupe, paraissent être un dodécaèdre pentagonal avec $(100) : (hkl) = 148^\circ$ environ, angle qu'on retrouve dans certains plans semés d'inclusions et noyés dans le sel.

Pour en terminer avec les enclaves des types *b* et *c*, j'ajouterai qu'en

général le liquide qu'elles contiennent brunit par la chaleur; peut-être se fait-il un dépôt sur les parois de la cavité. Les bulles se déplacent tout aussi facilement après chauffage et augmentation de leur diamètre qu'avant, sans en excepter celles qui touchent aux parois des cavités allongées, ni même celles qui occupent les trois quarts du petit espace.

Le liquide dans lequel elles flottent n'a pas la propriété de dissoudre le sel. S'il a la composition reconnue plus haut, il est remarquable de constater la mobilité des bulles malgré sa concentration; les gaz occlus y sont peut-être pour quelque chose.

Les interpositions *a* se comportent tout autrement. Déjà, après une faible application de la chaleur, elles reçoivent une petite bulle au refroidissement; celle-ci est mobile et reste définitivement acquise. En outre, les plus petites cavités (7μ de côté et moins), qui se trouvent en grand nombre à la limite des essaims d'inclusions, ont alors chacune une bulle, animée d'un mouvement brownien plus ou moins vif. S'il a été prétendu que le sel gemme ne contenait pas d'enclaves de ce genre, c'est vraisemblablement parce qu'on les a cherchées dans des préparations non chauffées, ou trop chauffées.

En effet, un chauffage plus vif, voisin de 100° , amène de notables transformations. Les bulles augmentent de diamètre et le liquide perd de sa fluidité en dissolvant une partie des parois de sa prison. Après refroidissement, on trouve le contour des inclusions bombé vers l'extérieur, mais rétréci; les bulles sont collées aux parois ou à de petits cubes vaguement contournés. Ces derniers disparaissent au bout de peu de temps, si l'on a opéré avec précaution (fig. 12, à droite).

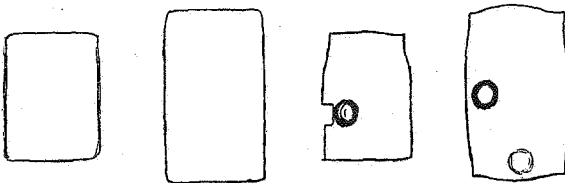


FIG. 12.

Parfois la bulle, en changeant de place par une nouvelle augmentation de température, abandonne une faible empreinte circulaire à l'endroit qu'elle occupait d'abord, donnant ainsi une preuve de la formation d'un dépôt (fig. 12).

Le renouvellement de cette opération, à quatre ou cinq reprises, produit une modification profonde dans l'aspect de ces interpositions.

Les bulles ne s'agrandissent plus; elles sont irrégulières, chiffonnées comme des ballons dégonflés, immobiles, le liquide s'étant considérablement épaissi.

Beaucoup sont fixées à un rentrant faisant corps avec le sel, qui n'est autre chose qu'un cube en saillie dans la cavité (fig. 13). D'autres sont, au contraire, logées dans un angle en ressaut dans le sel. Beaucoup d'entre elles paraissent comme collées sur une sorte de cube jaune, réfringent, occupant un coin de l'inclusion; c'est, en réalité, l'espace qu'occupe la partie non figée de la solution, ainsi qu'en témoignent les mouvements, restreints à cet espace, que la bulle peut encore exécuter.

L'éclairage diaphragmé oblique permet de voir les remplissages assez régulièrement disposés dans les angles des vacuoles et ne laissant libre qu'un espace cruciforme, etc. (fig. 13).

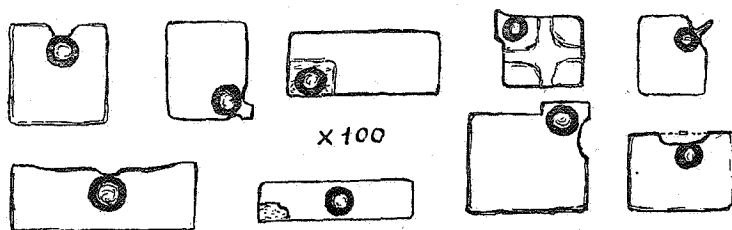


FIG. 13.

Un dernier chauffage, jusqu'à calcination du baume, ne changerait rien à cet état et, si on le poussait trop loin, on provoquerait l'éclatement des inclusions, ainsi que la cristallisation en masse et le noircissement de leur contenu.

Les troubles produits avant cette irrémédiable transformation pourraient déjà servir, semble-t-il, à établir de façon certaine que ce sel n'a jamais été soumis à des températures supérieures à 100°; mais on constate bientôt (quelques jours) que les altérations ainsi produites tendent à s'atténuer. Certaines bulles reprennent la faculté de suivre le mouvement imprimé à la préparation; devant quelques rentrants apparaissent des lignes de ponctuations ou un petit rectangle annonçant leur égalisation; les petits cubes disparaissent; les espaces remplis de liquide jaunâtre s'agrandissent, laissant plus de champ aux déplacements des bulles; ces dernières reprennent leur sphéricité.

Ce retour à l'état primitif se poursuit avec lenteur et je ne pense pas qu'il sera complet. En admettant que cette éventualité se réalise,

il ressort en tout cas de la revision de pièces analogues, que j'ai préparées il y a une trentaine d'années et traitées moins violemment, que les bulles gazeuses, nées sous l'influence de la chaleur, ne sont plus résorbées. La présence d'interpositions liquides sans bulles suffirait, dès lors, à établir qu'une température maxima de 80 à 100° n'a jamais régné dans les gisements de sel.

Cette déduction serait pourtant hâtive, les enclaves sans bulles pouvant s'être formées après que les dépôts du terrain salifère auraient subi des transformations géologiques diverses. — La recristallisation du sel ne saurait être douteuse, au moins pour certaines parties de ses gisements.

Tout ce qu'il est permis de dire, c'est que depuis que ce minéral est dans l'état où nous le recueillons actuellement, il n'a pas subi de notable élévation de température. La présence de soufre cristallisé (fusible à 114°), dans ces mêmes inclusions, confirme cette déduction.

Figures de corrosion naturelles. — Elles présentent de l'intérêt, au point de vue de ce qui précède, en établissant l'action d'un dissolvant jusqu'entre les plans de clivage du sel. Je les ai trouvées, par hasard, dans un gros bloc cubique, parfaitement homogène en apparence, mais qui contenait un grain différemment orienté, d'une fraction de centimètre cube. En fendant l'échantillon, il s'est ouvert à cet endroit et les deux plans obtenus présentèrent plusieurs dépressions régulières, se répétant en nombre et en grandeur (0.4 millimètre) sur chaque face. Quand je les ai remarquées, plusieurs contenaient un petit grain huileux, comme le reste d'une matière hygroscopique.

L'aspect est celui des figures de corrosion que l'humidité fait naître sur les cristaux des collections, avec cette différence qu'elles sont doubles (fig. 14 vu du dessus, un peu obliquement). Leurs faces étant assez planes et brillantes, j'ai pu mesurer sur deux des plus grandes :

$$(100) : (hkl) = 8^{\circ} 12', 21', 49', 53 \text{ à } 9^{\circ} 19', 21'$$

ce qui correspondrait à un cube pyramidé bien plus obtus que celui qu'on a observé sur des corrosions artificielles.

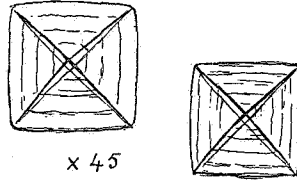


FIG. 14.

Sel gemme bleu.

Les nombreuses recherches faites sur ce minéral laissent encore ouverte la question de la nature du colorant. Pour les uns, la teinte bleue dépendrait d'un phénomène optique; pour d'autres, elle serait due à des substances organiques (bitumes, hydrocarbures). La présence de sels de cuivre, d'un sous-chlorure, du soufre ont été successivement rendues responsables de l'énigmatique coloration. On sait qu'elle disparaît au-dessus de 300° et que la solution du sel bleu est incolore, de même que les cristaux qui s'y développent. La sylvine (KCl) et la kainite ($\text{MgSO}_4 + \text{KCl} + 3\text{H}_2\text{O}$) bleue ont été également observées (1).

M. Giesel, M. Kreutz et d'autres ont réalisé la coloration bleue, ou violette, des chlorures en les chauffant dans du sodium métallique; enfin, on a étudié l'influence du radium sur ces colorations et fait des recherches comparatives à l'aide de l'ultra-microscope, sans arriver à un résultat définitif. Cet échec ne doit pas étonner, si l'on considère les minutieuses expériences de Wülfing (2). Elles apprennent que la quantité de pigment admissible dans les minéraux franchement colorés, tels que l'améthyste, le quartz enfumé, la fluorine, n'est guère que de quelques milligrammes au kilogramme. D'aussi minimes quantités de matière ne fournissent plus de réactions nettes, comme E. Weinschenk l'a établi, en reproduisant plusieurs de celles-ci à l'aide des mêmes minéraux incolores (3).

Couleurs et absorption. — Les teintes varient du bleu d'azur, de Prusse, indigo, lavande, au bleu-noir. Le pigment est répandu en nuages, en mouches, dans la masse cristalline incolore. Les teintes claires s'observent sur des morceaux de plus d'un décimètre cube; je n'ai pas vu de débris très foncés dépassant quelques centimètres cubes.

(1) Pour la littérature, consulter les dernières années du *Neues Jahrb. f. Min. et le Centralblatt* annexé, où l'on trouvera les renvois bibliographiques relatifs aux travaux de MM. Giesel, Kreutz, G.-C. Schmidt, Siedentopf, etc., concernant les expériences de coloration des chlorures à l'aide des métaux alcalins, ainsi que celles sur l'action du radium.

(2) *Festschrift zum 70^{ten} Geburtstag von H. Rosenbusch*, 1906.

(3) *Tschermak's min. u. petrog. Mitt.*, t. XIX, 1899.

Au micro-spectroscope, on constate de l'absorption dans l'orangé et une large bande près du vert, avant la ligne E (fig. 15).

L'application de la chaleur a pour effet, avant de détruire la coloration naturelle, de la faire virer au violet vif. La bande d'absorption près du vert disparaît alors et fait place à deux bandes dans le jaune, près de D (fig. 15).

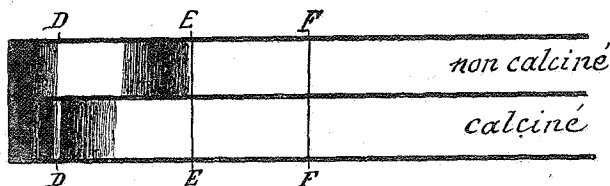


FIG. 15.

La coloration s'efface un peu plus lentement dans un espace clos, qu'au contact de l'air. Une petite plaque d'un millimètre et demi d'épaisseur, de sel bleu-noir, observée dans une cellule de chauffage au gaz, pâlit insensiblement vers 300°, rapidement et uniformément à 340°, sans que la limite de la tache bleue, repérée sur le réticule du micro-spectroscope, se déplace. L'intensité de la coloration étant plus faible au bord de la tache, cette partie s'éclaircit plus rapidement et peut faire croire à une rétraction du pigment.

Pour vérification, le fragment est repris, repéré sous le microscope et chauffé pendant une heure à la température constante de 250°; il n'y a pas de modification sensible. Par contre, lorsqu'on pousse ensuite la température vers 320°, la diminution d'intensité de la teinte est évidente, elle se fait à la fois sur toute la plage.

La plaque est retirée avant que la décoloration ne soit trop forte. Sa teinte est violet clair; elle donne au spectroscope une seule bande d'absorption après D, mais elle est extrêmement marquée.

La température d'altération du pigment ne dépasserait donc pas 300°; c'est un maximum, la matière colorante se trouvant protégée par son mélange intime avec le sel. Ce chiffre concorde avec celui de MM. Witjen et Precht (280°) et avec celui que M. Wülfing a obtenu pour la décoloration du quartz enfumé, en opérant de façon très graduée, puisque, dans ses essais, le chauffage et le refroidissement nécessitaient douze à quatorze heures. Il a été constaté qu'à 110° le pigment a résisté; à 277°, il a partiellement disparu; à 300°, la décoloration est complète (poids des cylindres de quartz : 50.1461 et 50.0251 gr. Perte en poids : 0.4 et 0.15 milligr.).

Dissolution. — Des avis opposés ont été publiés au sujet de l'émission de gaz par dissolution du sel bleu. Pour mes échantillons, les choses se passent comme suit :

Les parties blanches, comme les bleues, émettent de petites bulles au moment du contact avec l'eau. Sous le microscope, le dégagement a la même allure pour tout l'échantillon, quelle que soit la teinte de ses diverses parties. Mais lorsqu'il n'y a pas d'inclusions, lorsque la dissolution se ralentit par suite de la concentration du liquide et qu'on chasse les nombreuses bulles adhérentes, tant à la pièce qu'au verre-couvreur, la dissolution se continue sans aucun dégagement, si ce n'est de rares bulles isolées. Le débris fond uniformément, sous les yeux de l'observateur, sans autre phénomène remarquable que les mouvements des filets de liquide saturé, incolores, qui circulent dans la solution.

Microstructure. — Un morceau de clivage, de 35 centimètres de côté, présente la coloration bleue, d'intensité moyenne, en couches plus foncées, parallèles à un de ces plans de clivage que je noterai (100); elles s'arrêtent brusquement et irrégulièrement près d'un des bords de l'échantillon.

Les plaques prélevées parallèlement à (010) et à (001) montrent ces couches sous forme de bandes plus ou moins colorées, de 1 à plusieurs millimètres de largeur; chaque lame successive accuse une disposition différente du colorant.

Déjà à la loupe, on perçoit une fine striation claire, suivant deux diagonales, dans toutes les plaques, surtout dans celles \parallel (010) et (001). Ce réseau correspond bien à des plans rhombododécaédriques, puisqu'en faisant tourner légèrement une plaque autour d'un axe parallèle à l'un des systèmes de stries, celui-ci disparaît, tandis que celui qui lui est perpendiculaire reste visible, et vice versa. Ces plans \parallel $\{110\}$ ne se maintiennent pas non plus sur de grandes profondeurs, mais le même groupe de lignes peut être suivi sur 1 centimètre de longueur, et davantage, au travers de plusieurs couches (100) d'intensité très différente. Toutefois, on remarque que, en passant de l'une à l'autre, l'épaisseur du trait clair varie : il est plus large (0.1 millimètre et au delà) dans les couches claires que dans les couches foncées. Certaines lignes très fines vont très loin et présentent la particularité de s'inverser sur leur trajet; de blanches qu'elles étaient dans une couche, elles deviennent bleu foncé dans la couche suivante. Les lignes larges sont les moins étendues; elles s'arrêtent contre d'autres qui leur barrent le chemin et délimitent ainsi de petits rectangles où le pigment paraît

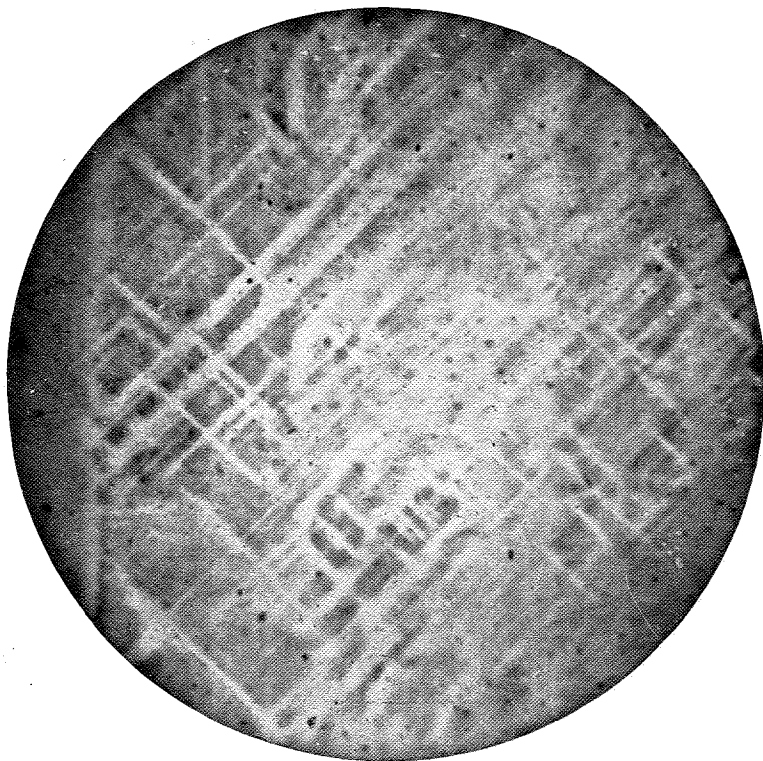


FIG. 16. — Microstructure d'une lame de clivage de sel bleu. Les bandes verticales sont les traces de couches colorées, parallèles à une face du cube, prise ici comme (100). Les parties bleues sont sombres.

Lumière ordinaire. — Grossissement : 22 diamètres.

comme coagulé. La photographie (fig. 16, hors texte) les représente dans une plaque $\parallel (010)$; les bandes verticales sont les coupes des couches $\parallel (100)$. Aucun artifice d'éclairage n'a été employé pour l'obtenir. Les parties sombres correspondent aux parties bleues de l'échantillon.

Les phénomènes de biréfringence sont très marqués en lumière polarisée, sans qu'il soit nécessaire de recourir à des lames sensibles. Les clairs se détachent en lignes brillantes sur fond sombre, en conservant la même largeur qu'en lumière ordinaire; on les voit passer dans le sel incolore, sans que le pigment les suive.

Le chauffage ne les fait pas disparaître, ainsi qu'on s'en assure en rapprochant deux fragments adjacents dont l'un a été soumis à la chaleur un temps suffisant pour amener une décoloration marquée: les lignes brillantes de l'un se continuent par les lignes brillantes de l'autre. L'échantillon soumis à un chauffage prolongé, dont il a été parlé antérieurement, les montre encore.

On sait qu'elles existent aussi dans le sel non coloré. Ces lignes semblent correspondre à des lamelles de translation et sont analogues à celles que la compression développe dans le sel; elles me semblent plus arrêtées cependant. On a même pensé que le colorant aurait pu s'introduire dans le sel blanc par leur intermédiaire. L'hypothèse perd de sa valeur lorsqu'on considère qu'elle ne rend pas compte de l'origine des couches parallèles aux faces cubiques, ni de l'interruption de la couleur des lamelles $\parallel \{110\}$, lorsqu'elles passent l'intervalle clair entre deux couches cubiques successives.

J'ai plutôt l'impression — malgré l'étonnante irrégularité des taches de mes échantillons foncés — d'une particularité de cristallisation, dans laquelle deux structures se sont superposées, celle de la tache et celle du cristal, en s'influençant mutuellement quelque peu: le cristal a dérangé la disposition première du colorant, qui flottait dans la solution, pour l'intercaler dans sa trame, mais en acquérant de la biréfringence; la tache, de son côté, n'a conservé que ses limites générales. Celles-ci sont arrondies, mais nettes dans les échantillons foncés, et les lignes diagonales, ici plus intenses et violettes, ne les franchissent pas.

D'autres taches, au contraire, se perdent dans le sel blanc en mèches ayant un axe plus foncé et à *peu près* parallèle à un clivage; non loin, des mèches *vaguement* perpendiculaires se présentent avec les mêmes caractères.

Le bel échantillon, si régulier, dont la photographie précède, n'est pas exempt de défauts analogues. On y trouve des bavures du colorant,

des stries claires, disposées en trainées sans signification cristallographique.

D'ailleurs, comment ces mouchetures isolées auraient-elles pu se produire au milieu des masses incolores solides? Les lamelles $\parallel \{410\}$ ne se sont pas produites après coup, car la compression qui les aurait fait naître aurait aussi causé le pléochroïsme que M. Cornu a provoqué artificiellement de cette manière; j'ai reproduit cette particularité qui

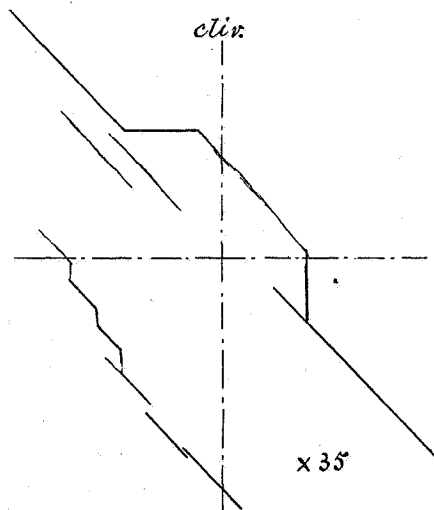


FIG. 17.

manque aux échantillons naturels. Il est peu probable aussi que l'action mécanique se serait toujours maintenue dans des limites aussi restreintes, sans jamais arriver jusqu'à des rejets que l'on puisse observer.

Enfin, l'échantillon de sel bleu à structure très accusée m'a montré des détails qui militent en faveur d'une fissilité cristalline $\parallel \{410\}$; ce sont les seuls de quelque netteté que je connaisse. La surface obtenue par clivage possède, sur de petites distances il est vrai, des arrachements sous

forme de lignes très pures qui font, avec des lignes analogues de clivage, des angles précis de 135° et de 45° (fig. 17). Elles n'ont pas de profondeur, mais sont d'une netteté remarquable.

La même préparation contient une nappe d'infinitésimales inclusions liquides, sans bulles, qui sont rigoureusement alignées suivant les diagonales de la face du cube. Pour m'assurer de la présence d'un liquide sans altérer la pièce, je l'ai rapidement chauffée près du bord où commence la nappe, ce qui a donné des bulles mobiles à un certain nombre de vacuoles.

Ces interpositions sont si petites et si serrées à certaines places, qu'on peut les évaluer à 240,000 par millimètre carré; l'estimation, assez exacte, est facilitée par la disposition très régulière des ponctuations.

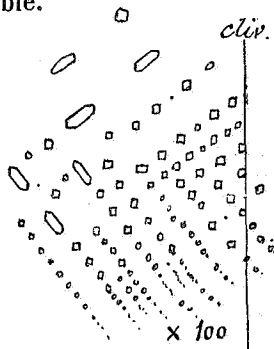


FIG. 18.

En outre, on voit, au bord de l'essaim, où se trouvent les plus grosses vacuoles, non seulement des éléments cubiques, mais aussi des inclusions précisément allongées suivant les diagonales — ce qui est exceptionnel — et dont les contours hexagonaux s'accusent nettement sous une forte amplification (fig. 18).

De semblables amas sont rares dans le sel blanc; les éléments cubiques y sont d'ordinaire plus volumineux et plus espacés; on y observe la même diminution du diamètre des interpositions vers le bord de la nappe qui se perd dans la masse cristalline, ainsi que la disposition diagonale rigoureuse de certains alignements d'enclaves liquides.

Conclusions.

L'existence de plans de moindre résistance $\{110\}$ dans le sel gemme blanc est à confirmer. De façon générale, il y a lieu de rechercher jusqu'à quel point l'orientation régulière et la production de plans de fêlure par percussion, rayure, pression, etc., dépendent, chez certains minéraux, des autres plans de moindre résistance qui existent dans les milieux cristallisés (clivages), avant de leur attribuer la même importance qu'à ces derniers. Empruntant la terminologie des métallographes, on peut se demander si les plans obtenus par ces efforts correspondent à des *faces cristallines* ou à des *faces de déformation banales* (1).

Certaines inclusions du sel blanc contiennent des solutions de divers sels avec des gaz sous pression, mais aussi beaucoup de NaCl.

Il y en a qui renferment, outre les substances connues, des filaments organiques, et d'autres, du soufre cristallisé.

On en trouve aussi qui emprisonnent deux liquides dont l'un, très réfringent, est visqueux à température ordinaire.

Le chauffage modéré que nécessite la confection des préparations suffit déjà pour faire apparaître des bulles dans les inclusions liquides finement contournées, qui en étaient dépourvues. La classique observation de Brewster sur le sel de Cheshire n'est pas l'exception, mais la

(1) OSMOND, FRÉMOND et CARTAUD. *Les modes de déformation et de rupture des aciers doux.* (REV. DE MÉTALLURGIE, 1907.)

règle. Les plus petites inclusions reçoivent ainsi des bulles à mouvement brownien. Certaines modifications dans l'aspect des inclusions, provoquées de cette façon, disparaissent avec le temps; les bulles restent définitivement acquises.

Les inclusions largement contournées, ayant naturellement une bulle sombre, changent peu par l'élévation de la température; la bulle s'agrandit.

Le sel gemme bleu a une bande d'absorption marquée avant E; celle-ci disparaît par calcination et fait place à deux bandes près de D.

Le colorant ne résiste pas au delà de 500°; il serait probablement détruit à plus basse température, s'il n'était protégé par le sel auquel il est intimement mélangé.

La dissolution du sel bleu dans l'eau n'est pas accompagnée d'un dégagement gazeux particulier.

La concentration du colorant suivant des plans $\parallel \{110\}$ paraît dépendre d'une disposition initiale au moment de la cristallisation; de même pour les plans $\parallel \{100\}$.

La nature du colorant reste à déterminer. Les études récentes n'ont pas ruiné la supposition qu'il dépend d'un produit organique ou sulfuré. Tout nous ramène vers cette interprétation: la présence constante de corps volatils très odorants dans les inclusions; l'interposition de matières organiques; la fréquence du soufre, sont autant d'indices qu'il importe de ne pas perdre de vue. La fugacité même du pigment cadre mal avec la supposition qu'il dépend d'une matière inorganique.