

Usine à fer. *ORDONNANCE du 25 février 1818, portant que la dame Simone Brun, veuve du sieur Gros, est autorisée à maintenir en activité l'usine à fer, de seconde fusion, qu'elle possède à Lyon, département du Rhône.*

Affinerie et tréfilerie. *ORDONNANCE du 11 mars 1818, portant que le sieur Charles-Joseph Hocard est autorisé à établir sur sa propriété et sur le petit ruisseau, ou cours d'eau de la fontaine de la papeterie, qui coule sur le territoire de la commune de Goncourt, département de la Haute-Marne, une affinerie et une tréfilerie destinées à fabriquer des petits clous, dits pointes de Paris.*

SUITE DES RECHERCHES sur les causes qui déterminent les variations des formes cristallines d'une même substance minérale;

PAR F. S. BEUDANT, Sous-Directeur du cabinet de minéralogie particulier du ROI.

TROISIÈME SECTION (1).

Influence qu'exercent sur les formes cristallines les mélanges chimiques qui existent dans la solution dont elles se précipitent.

§ 35. LES observations les plus générales nous apprennent qu'il est rare que les substances minérales aient cristallisé isolément dans la nature; que presque toujours elles se sont formées plusieurs ensemble, qu'il en est même qui sont constamment accompagnées par telle ou telle autre espèce, et qui semblent ne pouvoir se former que dans leur association. Or, nous avons vu aussi que les formes cristallines d'un même minéral variaient ordinairement, suivant la nature des substances accompagnantes, et qu'en général elles étaient semblables dans les associations analogues. D'après cela, il était assez naturel de penser que les variations cristallines d'un même corps pouvaient être déterminées par l'influence des diverses substances qui, dans les différens cas, se trouvaient en solution avec

(1) Les deux premières sections de ce Mémoire ont été insérées dans la seconde livraison, page 259.

lui ; mais cette conjecture avait besoin d'être éclairée par le flambeau de l'expérience.

D'un autre côté , la comparaison des diverses analyses chimiques d'une même espèce minérale, et les observations que j'avais eu l'occasion de faire sur les sels, m'apprenaient qu'il pouvait arriver que les diverses substances dissoutes dans le même liquide cristallisassent toutes séparément, ou bien que quelques-unes se mélangéassent en des proportions plus variables et plus ou moins grandes. Ces deux circonstances particulières, dont il était important de déterminer les effets, m'ont engagé à entreprendre deux séries distinctes d'expériences, qui me conduisirent à partager cette section en deux parties.

PREMIÈRE PARTIE. *Influence qu'exercent sur les formes cristallines d'un sel les substances étrangères dissoutes dans la solution, et non susceptibles de se mélanger chimiquement avec lui par la cristallisation.*

§ 36. Je distinguerai encore ici deux cas différents : l'un, où tous les corps, en présence dans la solution, peuvent être solides par leur nature, et par conséquent se trouver parmi les cristaux obtenus ; l'autre, où quelques-uns de ces corps sont toujours liquides ou gazeux, et par conséquent ne peuvent laisser aucune trace de leur présence parmi les résultats.

1^{er}. Cas. *Tous les corps de la solution étant susceptibles de cristallisation.*

§ 37. Il est un grand nombre de sels qui, en cristallisant ensemble, m'ont paru ne s'influencer en aucune manière ; mais il en est d'autres qui m'ont présenté des résultats qui me paraissent mériter quelque attention :

L'alun qui, seul, cristallisait en octaèdre légèrement tronqué sur les arêtes, a donné des cristaux octaèdres tronqués légèrement sur les angles solides, en cristallisant au milieu d'une solution de nitrate de cuivre, et des cristaux octaèdres complets, en cristallisant dans une solution de sulfate ou de phosphate de soude.

Le muriate d'ammoniaque, qui avait cristallisé très-difficilement seul et en cristaux octaèdres, a cristallisé avec la plus grande facilité en cristaux cubo-octaèdres au milieu d'une solution de sulfate de cuivre, où il s'était formé un sulfate double de cuivre et d'ammoniaque.

Le muriate de soude, qui seul cristallise en cubes, présente des cristaux cubiques tronqués sur les angles solides en cristallisant au milieu d'une solution de borax : c'est ce qui a lieu plus facilement encore dans une solution d'acide borique.

Le borax lui-même, dans cette circonstance, a présenté plusieurs sortes de cristaux mêlés entre eux ; des cristaux *primitifs*, des cristaux *périhexaèdres* en grand nombre, et des cristaux de la variété que M. Haüy a nommée *émoussée* (H., pl. XXXIX, fig. 151), tandis qu'en cristallisant seul il a affecté la forme *dihexaèdre* (H., pl. XXXIX, fig. 153). Je ferai remarquer que c'est presque le seul cas où j'aie obtenu des cristaux réellement entremêlés de formes différentes.

Le sulfate de cuivre, qui, en cristallisant dans l'eau pure, affectait la variété de forme que M. Haüy a nommée *isonome* (H., pl. LXXIII, fig. 108), a présenté, dans une solution assez forte de nitrate de cuivre, des cris-

taux prismatiques hexaèdres assez allongés, produits par la troncature des arêtes latérales aiguës de la forme primitive, et modifiés sur les bords aigus de la base par quelques facettes linéaires très étroites.

Quelques expériences sur le phosphate de soude et le phosphate d'ammoniaque m'ont aussi présenté des variations notables; mais comme ces sels, et sur-tout le phosphate d'ammoniaque, sont très-altérables dans leur composition, il pourrait se faire que les variations que j'ai obtenues fussent dues aux petits changemens arrivés dans les proportions relatives de base et d'acide.

2. Cas. *Quelques-uns des corps de la solution étant liquides ou gazeux.*

§ 38. J'ai d'abord essayé l'action du gaz hydrogène sulfuré sur diverses espèces de sels qu'il n'était pas susceptible de décomposer; mais en général je n'ai obtenu aucuns résultats remarquables. J'en dirai autant du gaz acide sulfureux.

(a) L'acide nitrique a décomposé totalement plusieurs des sels soumis à son action, et les portions qui avaient échappé à la décomposition ont cristallisé en petites houppes fibreuses. Mais l'alun et le sulfate de cuivre dissous dans cet acide ont présenté des résultats particuliers.

L'alun, qui, dans l'eau pure, affectait la forme d'octaèdres légèrement tronqués sur les arêtes, a pris constamment la forme cubo-octaèdre en cristallisant dans l'acide nitrique; il s'est formé du nitrate de potasse dans cette opération, mais point de nitrate d'alumine. L'acide sulfurique provenant de la décomposition d'une petite quantité de sulfate de potasse était à l'état

libre dans le liquide restant, après la cristallisation totale du sel.

Le sulfate de cuivre, qui dans l'eau pure donnait la variété *isonôme*, étant dissous dans l'acide nitrique, a donné des cristaux allongés, très-étroits et d'une forme très-différente.

(b) L'acide muriatique ne m'a présenté de résultats remarquables qu'avec le sulfate de fer et l'alun.

Le sulfate de fer, que j'ai employé dans ces expériences, présentait, en cristallisant dans l'eau pure, des rhomboèdres modifiés par des facettes triangulaires aux angles solides latéraux (variété *unitaire*, H., pl. LXXIX, fig. 172); mais en cristallisant dans l'eau saturée de gaz acide muriatique, il a présenté des rhomboèdres tronqués très-profondément au sommet, et encore des traces linéaires des facettes triangulaires latérales. Ces cristaux étaient en général réunis par petits groupes, sur lesquels les faces homologues se trouvaient semblablement placées; mais ils se sont beaucoup altérés.

L'alun, que j'ai employé dans les mêmes expériences, cristallisait dans l'eau pure en octaèdres tronqués sur les arêtes; mais dans l'acide muriatique il a présenté une forme que je n'ai jamais obtenue d'aucune autre manière. La figure dominante de ces nouveaux cristaux est l'octaèdre passant au cube par le remplacement de ses angles solides; mais en outre il existe à chaque angle des facettes triangulaires qui proviennent d'une loi de décroissement que M. Haüy n'a pas décrite dans cette substance, et qu'on ne retrouve que dans le fer sulfuré et dans le cobalt gris. Ces facettes appartiennent au dodécaèdre

pentagonal, et donnent lieu à l'icosaèdre de la minéralogie, en se réunissant avec celles de l'octaèdre. Cette variété d'alun est tout-à-fait semblable à la variété de fer sulfuré ou de cobalt gris, que M. Haüy a nommée *cubo-icosaèdre* (*H.*, *pl.* *LXXVI*, *fig.* 147).

Il est important de faire remarquer que l'on n'obtient pas toujours immédiatement cette forme, et qu'il semble que ce soit par degrés que la cristallisation se plie à cette modification; la forme des cristaux qu'on obtient par le premier dépôt de la solution paraît dépendre de celle que l'alun était susceptible de prendre naturellement avant.

En effet, si on emploie de l'alun, qui dans l'eau pure cristallise naturellement en octaèdres tronqués sur les arêtes, la solution muriatique donne d'abord des cristaux cubo-octaèdres; et ce n'est qu'à la seconde; quelquefois même à la troisième cristallisation, que l'on obtient la variété cubo-icosaèdre. Si on emploie de l'alun, qui d'avance soit susceptible d'affecter la forme cubo-octaèdre, on est presque sûr d'obtenir le cubo-icosaèdre dès la première cristallisation: c'est ce dont je me suis assuré par plusieurs expériences.

Dans tous les cas, après plusieurs cristallisations successives, la solution ne donne plus qu'un magma de muriate d'alumine en paillettes nacrées, et de muriate de potasse; mais ce dernier sel était en très-petite quantité dans toutes les expériences que j'ai faites.

(c) J'ai aussi essayé l'action de l'acide acétique; mais le plus souvent les sels ont été complètement décomposés, ou bien ils ont cristallisé confusément: en général je n'ai rien obtenu de

constant par ce moyen, si ce n'est avec le sulfate de fer. L'effet de cet acide sur ce sel me paraît être de lui enlever son eau de cristallisation; car aussitôt que la solution commence à s'opérer par l'action de la chaleur, il se forme un précipité blanc, qui n'est autre chose que du sulfate de fer sans eau; mais le liquide surnageant dépose ensuite, par le refroidissement, des cristaux mal formés et en rhomboèdres complets, quelle que soit d'ailleurs la forme que le sel puisse prendre naturellement dans l'eau pure. Ces cristaux sont d'un blanc verdâtre, et très-fragiles; ils ne s'altèrent point à l'air, et ne fondent pas par l'action de la chaleur, comme les cristaux de sulfate de fer ordinaire.

L'alcool à 38° produit sur le même sel absolument les mêmes effets; il y a aussi précipitation d'une poudre blanche, et ensuite dépôt de cristaux rhomboèdres un peu plus verdâtres que ceux dont je viens de parler.

L'acide sulfurique, légèrement aqueux, agit encore de même; mais les cristaux qu'on obtient sont d'un beau vert d'émeraude, assez compliqués et facilement altérables.

§ 39. Si ces dernières expériences ne m'ont pas amené à de grands résultats, relativement aux variations des formes cristallines du sulfate de fer, elles m'ont conduit à des réflexions qui, sous un autre rapport, méritent bien aussi de fixer l'attention. On sait que la chaux sulfatée se présente dans la nature sous deux états différens, tantôt avec eau, tantôt sans eau. Or, si le sulfate de fer se trouvait dans la nature sous ces deux états, les expériences précédentes

conduiraient immédiatement à fixer les circonstances dans lesquelles il se serait formé : dans un cas, ce serait l'eau pure qui lui aurait servi de dissolvant ; dans l'autre, l'acide sulfurique plus ou moins concentré. J'ai été conduit naturellement à appliquer ce raisonnement à la chaux sulfatée, et j'ai cherché à le vérifier par l'expérience.

Si on fait dissoudre du carbonate de chaux dans l'acide sulfurique étendu d'eau, on obtient, par l'évaporation, du sulfate de chaux en aiguilles, qui renferment 20 à 25 pour 100 d'eau. Si on emploie au contraire de l'acide sulfurique très-concentré, on obtient, par l'évaporation, un magma qui, débarrassé autant que possible de l'acide sulfurique libre adhérent, m'a paru ne pas renfermer d'eau. Mais cette expérience aurait besoin d'être répétée un peu en grand avec beaucoup de soin : si elle est constante, comme je le crois, elle pourrait donner, dans quelques cas, une explication assez naturelle de la formation de la chaux sulfatée anhydre (*); mais lorsque cette roche alterne avec des couches calcaires, comme cela arrive souvent, il faudrait recourir à d'autres moyens pour expliquer son origine. On pourrait alors admettre la présence d'un corps quelconque, qui retienne l'eau avec beaucoup de force.

(*) Cette expérience est plus difficile qu'on ne le croirait au premier moment, parce qu'on ne sait comment se débarrasser de l'acide surabondant qui adhère à la masse saline. Je n'ai trouvé d'autre moyen que de la plonger dans de l'alcool très-sec, de la recueillir ensuite, et de la sécher dans du papier brouillard; mais il serait possible que cette épuration eût altéré le sel.

DEUXIÈME PARTIE. *Influence qu'exercent sur les formes cristallines d'un sel les substances dissoutes dans la solution, lorsqu'elles sont susceptibles de se mélanger chimiquement avec lui par la cristallisation.*

§ 40. Dans un mémoire que j'ai eu l'honneur de présenter à l'Académie, et auquel elle a bien voulu donner son approbation, j'ai fait voir que le sulfate de fer pouvait être mélangé d'une très-grande quantité d'un ou de plusieurs autres sels, sans perdre la faculté de cristalliser dans le système rhomboédrique, qu'il est susceptible d'affecter à l'état de pureté. Mais trop occupé alors des considérations minéralogiques particulières auxquelles ces nouveaux résultats me conduisaient, j'ai passé sous silence des considérations d'un autre genre, qui m'auraient trop éloigné de mon objet, et qui d'ailleurs ne pouvaient être discutées isolément.

Il est clair que si le sulfate de fer, déplacé dans sa cristallisation, a assez d'énergie pour paralyser en quelque sorte la cristallisation des sels qui lui sont mélangés, quelquefois en grande quantité, ceux-ci à leur tour doivent exercer une action sur lui. Or cette action, moins puissante peut-être que la première, manifeste ses effets par les modifications qu'elle apporte dans les formes cristallines qui dépendent du système rhomboédrique du sulfate de fer.

D'après un grand nombre d'expériences faites directement à ce sujet, j'ai trouvé que toutes les fois qu'un sel est susceptible de se mélanger chimiquement avec un autre, il en résulte toujours pour celui dont le système cristallin domine, des modifications de formes particulières. Ces

formes varient dans le même sel, suivant la nature du corps qui s'y trouve mélangé, et elles sont constantes dans le même mélange, tant que d'autres causes, que je me suis attaché à déterminer, ne viendront pas y joindre leur action modifiante. C'est ce que va prouver la série d'expériences suivante.

§ 41. *Le sulfate de fer*, quelque tendance qu'il ait, par suite de diverses causes, à affecter telle ou telle forme, peut toujours être ramené à la forme simple du rhomboèdre primitif par l'addition du sulfate de cuivre. Leblanc est, je crois, le premier chimiste qui ait remarqué que le mélange de ces deux sels affectait généralement la forme rhomboèdre; mais il n'a pas parlé des anomalies qui se présentent quelquefois, ni des moyens de les faire disparaître.

La forme résultante du mélange dépend beaucoup, toutes choses égales d'ailleurs, des proportions relatives des deux sels. Ainsi, lorsque la quantité de sulfate de cuivre est très-petite, comme 3 ou 4 centièmes de la masse, les facettes additionnelles sont souvent en même nombre et en même position que celles des cristaux de sulfate de fer pur obtenus par une expérience comparative, avec cette différence qu'elles sont plus petites, et qu'en général on voit dans les cristaux une tendance au rhomboèdre complet, ainsi qu'une plus grande régularité.

Si on augmente la quantité de sulfate de cuivre, on voit d'abord disparaître les facettes de remplacement du sommet; mais il faut encore en ajouter une plus grande quantité pour faire évanouir les facettes latérales; ce n'est souvent que quand on est arrivé à la proportion de 20,

30 ou 40 centièmes, qu'on obtient toujours, quelles que soient alors les autres causes modifiantes, des rhomboèdres complets. On continue ensuite de les obtenir jusqu'au terme où la quantité de sulfate de cuivre devient telle que c'est la forme de ce sel qui domine.

Lorsque la quantité de sulfate de cuivre est très-grande, et que la solution est soumise à une évaporation très-lente, il arrive que les sels se séparent en partie; il se forme alors des cristaux rhomboèdres de sulfate de fer, extrêmement allongés dans le sens de quatre de leurs faces, ce qui leur donne l'apparence d'un prisme à base rhombe.

S'il faut souvent beaucoup de sulfate de cuivre pour déterminer le rhomboèdre complet, il arrive pourtant quelquefois que quelques centièmes de ce sel suffisent pour le provoquer: mais cela n'a pas toujours lieu immédiatement; il faut que la solution se trouve naturellement à un certain état de neutralité, ou qu'elle y ait été amenée par quelque opération préalable, dont nous parlerons dans la quatrième section; ou bien, ce qui revient à-peu-près au même, il faut que le sulfate de cuivre soit introduit par l'intermédiaire d'un sel facilement décomposable.

C'est ainsi qu'un sulfate de fer quelconque peut être ramené immédiatement à la forme de rhomboèdre simple, en ajoutant de l'acétate de cuivre à sa solution; l'acide acétique est dégagé pendant l'opération, et il se forme une petite quantité de sulfate de cuivre, qui suffit alors pour provoquer des cristaux très-nets de la forme désirée. On les obtient de même avec une

grande facilité en faisant bouillir la solution de sulfate de fer sur un précipité de carbonate de cuivre ou d'oxide de ce metal.

§ 42. Un autre moyen d'obtenir immédiatement le rhomboëdre, est d'ajouter au mélange de sulfate de fer et de sulfate de cuivre une grande quantité de sulfate de zinc ou de sulfate de magnésie. Dans ce cas, le sulfate de fer devient la partie la moins abondante du mélange, et on conçoit aisément qu'il perd plus facilement la tendance que d'autres causes pouvaient lui donner à cristalliser d'une toute autre manière. Mais ce qu'il y a de bien remarquable dans cette expérience, c'est que le sulfate de zinc ou le sulfate de magnésie ne tendent pas par eux-mêmes à ramener le sulfate de fer au rhomboëdre primitif; ils le sollicitent au contraire à prendre la forme d'un rhomboëdre *basé* très-profondément; de sorte qu'il faut que le sulfate de cuivre détruise encore leur action modifiante, d'ailleurs très-énergique. En analysant les effets que chaque sel peut produire dans le mélange, on est conduit à admettre que l'action principale du sulfate de zinc ou de magnésie, est de détruire les facettes additionnelles latérales, et que celle du sulfate de cuivre est particulièrement d'empêcher le remplacement du sommet. Nous avons déjà vu que c'est par-là que le sulfate de cuivre commence son effet lorsqu'il est en petite quantité.

§ 43. Le sulfate de nickel détermine également le sulfate de fer à prendre la forme rhomboëdre. L'opération réussit plus facilement encore qu'avec le sulfate de cuivre; elle a même lieu immédiatement sur toute espèce de sulfate de fer,

sans qu'il soit nécessaire d'ajouter beaucoup de sulfate de nickel. J'observerai que quand ce dernier sel est très-abondant, les cristaux résultans s'altèrent très-facilement à l'air.

§ 44. Le mélange du sulfate de zinc provoque dans le sulfate de fer une variation d'un autre genre; il détermine généralement ce sel à affecter le rhomboëdre tronqué plus ou moins profondément au sommet. S'il est en petite quantité, il provoque déjà cette troncature; mais alors la face qui en résulte est très-peu étendue, et les cristaux conservent la plupart des facettes latérales que le sel prend en cristallisant dans l'eau pure. A mesure qu'on augmente la quantité de sulfate de zinc, le plan qui remplace le sommet devient plus large, et les facettes latérales deviennent de plus en plus petites, jusqu'à ce qu'enfin elles disparaissent totalement.

Dans le courant de ces expériences on voit encore, comme dans les précédentes, percer l'influence particulière de la surabondance d'acide dans la solution, et ce n'est qu'en la détruisant que l'on détermine l'effet complet du sulfate de zinc. Aussi, en général, obtient-on plus parfaitement les cristaux rhomboëdres *basés* en introduisant le sulfate de zinc par l'intermède d'un sel facilement décomposable.

§ 45. Le sulfate de magnésie paraît avoir le même genre d'action que le sulfate de zinc; il tend à faire prendre la même forme au sulfate de fer, et à faire disparaître toutes les facettes latérales, lorsqu'il est en quantité suffisante dans la solution. Les facettes désignées par la lettre *o* dans les figures de M. Haüy (*pl. LXXIX*) sont celles que les cristaux conservent avec le plus de force.

§ 46. Le sulfate d'alumine sans excès d'acide, mélangé avec le sulfate de fer, paraît tendre en général à en simplifier les formes. Ainsi, du sulfate de fer qui, dans l'eau pure, cristallisait en rhomboèdres modifiés à-la-fois sur tous les angles et toutes les arêtes (variété *pantogène* (H., pl. LXXIX, fig. 175), a été ramené, par le mélange du sulfate d'alumine, à un rhomboèdre remplacé seulement sur les angles latéraux par des facettes triangulaires (variété *unitaire*, H., pl. LXXIX, fig. 172). Du sulfate de fer, qui présentait la variété *équivalente* (fig. 174), a été ramené, par la même cause, à la variété plus simple, nommée *triunitaire*, 173, et à la variété *épointée*, fig. 171.

On rencontre assez fréquemment la variété *unitaire* dans le sulfate de fer du commerce; mais toutes les fois que j'ai trouvé cette forme, le sel renfermait toujours une quantité plus ou moins grande de sulfate d'alumine; si bien qu'en ajoutant un sel de potasse ou d'ammoniaque à la solution, il se formait des cristaux d'alun. Cette circonstance m'a fait manquer plusieurs fois les expériences que j'avais entreprises.

L'alun ammoniacal, mélangé dans une solution de sulfate de fer, ramène presque toujours immédiatement ce sel à la variété *unitaire*. Je soupçonne que, dans ce cas, le sulfate d'ammoniaque est décomposé par la chaleur, et qu'il reste alors dans la solution du sulfate simple d'alumine, qui agit comme dans l'expérience précédente. Quoi qu'il en soit, je n'ai jamais obtenu ce résultat avec l'alun purement potassé, qui, en général, ne me paraît avoir aucune ac-

tion pour faire varier les formes du sulfate de fer (*).

§ 47. Le sulfate de soude me paraît avoir aussi peu d'action sur le sulfate de fer; cependant j'ai quelquefois obtenu, lorsque ce sel était présent dans la solution, des rhomboèdres remplacés très-profondément sur tous leurs angles solides (variété *épointée* (H., pl. LXXIX, fig. 171), quoique les cristaux formés dans l'eau pure fussent très-différens.

§ 48. Je n'ai pu examiner suffisamment l'action que le sulfate de potasse ou le sulfate d'ammoniaque peuvent avoir sur le sulfate de fer, parce qu'il se forme trop rapidement des sulfates doubles. Cependant, comme ces derniers sels cristallisent promptement, je suis quelquefois parvenu, après avoir décanté et concentré un peu la solution surabondante, à obtenir des cristaux de sulfate de fer, qui dès-lors différaient toujours de ceux qui s'étaient formés

(*) J'observerai ici que l'alun, quel qu'il soit, me paraît peu susceptible d'être mélangé d'une grande quantité d'un autre sel; je n'ai jamais pu y introduire plus de 8 à 10 pour $\frac{2}{3}$ de sulfate de fer. Cependant Leblanc a annoncé (*Journal de Physique*, tome XXXI, page 96), que l'alun pouvait se surcomposer de moitié de sulfate de fer, et conserver la forme octaèdre. Je serais porté à soupçonner quelque erreur dans ce résultat, et je croirais en trouver la cause dans une expérience isolée, et dont je ne puis guère détailler les circonstances, où j'ai obtenu, d'un mélange de sulfate de fer et d'alun, des cristaux distincts par leur couleur, qui, au premier abord, paraissaient tous octaèdres; mais dans la réalité les uns étaient des octaèdres d'alun, et les autres des rhomboèdres de sulfate de fer *basés* très-profondément, lesquels, comme on sait, ressemblent à des octaèdres. Or, ces derniers renfermaient environ 70 centièmes d'alun; de sorte que je soupçonne que ce sont eux qui ont trompé Leblanc.

dans l'eau pure ; mais dans les diverses expériences de ce genre j'ai toujours obtenu dans les cristaux quelques petites différences, qui peut-être tenaient à la proportion du mélange.

D'après les expériences que je viens de citer, il me paraît certain que le sulfate de fer est susceptible d'affecter des variétés de formes différentes, suivant qu'il se trouve mélangé de telle ou telle espèce de sel en plus ou moins grande quantité. Je vais faire voir que plusieurs autres sels sont également dans le même cas.

§ 49. *Le sulfate de cuivre* subit aussi, suivant les différens mélanges, des variations de formes plus ou moins remarquables. Celui dont je me suis constamment servi présentait, en cristallisant dans l'eau pure, la variété de forme que M. Haüy a nommée *isonome* (*H.*, *pl.* *LXXIII*, fig. 108) : les facettes *s*, *y*, *u* étaient en général fort petites ; et on distinguait en outre sur quelques cristaux les facettes *k* très-étroites de la variété *soutriple*, fig. 110. Ce sulfate de cuivre, mélangé avec divers autres sels, m'a présenté les résultats suivans.

Avec le sulfate de zinc en petite quantité, il se fait peu de changement ; mais la facette *i* (*H.*, *pl.* *LXXIII*, fig. 112), qui est en général fort rare, vient presque toujours se joindre à la facette *s*, et alors l'angle solide aigu du cristal se trouve modifié par deux petits plans triangulaires allongés.

Une plus grande quantité de sulfate de zinc ramène les cristaux à une forme plus simple, qui présente en général le parallépipède primitif très-aplati et modifié seulement par un

plan étroit qui remplace les arêtes latérales obtuses (*H.*, *pl.* *LXXII*, fig. 104).

§ 50. Avec le sulfate de nickel il ne se forme pas de variétés distinctes ; mais les cristaux *isonomes* prennent un aspect particulier. Le prisme s'allonge beaucoup, et les facettes *r* ; par leur extension, lui donnent une forme octogone assez régulière, tandis que les facettes *y*, *u*, *k*, *s*, devenues très-étroites, modifient les bords aigus de sa base d'une manière en apparence assez uniforme.

§ 51. Avec le sulfate d'alumine on obtient à-peu-près le même effet ; mais les facettes latérales *w* deviennent si étroites, que le cristal se présente comme un prisme hexagone. L'alun ammoniacal conduit au même résultat.

§ 52. Le sulfate de magnésie, introduit dans une solution de sulfate de cuivre, produit en général dans les cristaux de ce sel un grand aplatissement, parallèlement aux faces du prisme ; s'il est en petite quantité, il ne produit pas d'autre effet ; mais lorsqu'il est en quantité plus grande, comme par exemple les 30 ou 40 centièmes de la masse, les cristaux de sulfate de cuivre qu'on obtient se trouvent tronqués très-profondément sur les angles solides aigus, et se présentent comme des lamelles hexagonales, biselées sur leurs bords. En général ces cristaux ont une grande tendance à se contourner et à se grouper inégalement.

S'il arrive que la solution renferme la moindre trace de sulfate de fer, il se forme en même temps des cristaux rhomboédres qui appartiennent à ce sel.

§ 53. Le sulfate de soude détermine, par son

mélange avec le sulfate de cuivre, des résultats fort remarquables; s'il se trouve en assez grande quantité dans la solution, on obtient le sulfate de cuivre sous une forme très-compiquée, qui, outre plusieurs facettes connues, présente des faces particulières dont les lois n'ont pas été déterminées: en général ces cristaux, par l'ensemble de leur figure, s'éloignent beaucoup de ceux qu'on obtient habituellement; il arrive quelquefois que les deux sommets ne sont pas semblables (*).

J'observerai que ces cristaux s'altèrent bien plus facilement à leur surface que les cristaux purs, et que l'application de la moindre chaleur suffit pour les faire blanchir jusqu'au centre et tomber en poussière.

§ 54. Le sulfate de potasse produit également des variations très-remarquables sur la cristallisation du sulfate de cuivre; mais il est assez difficile de les obtenir, parce qu'il se forme très-facilement des sels doubles. Cependant, en n'employant que de très-petites quantités de sulfate de potasse, on parvient à avoir des cristaux très-nets de sulfate de cuivre, qui, dans le prisme, présentent toujours les facettes M, T, z , r , l . Quant aux facettes du sommet, il me paraît que le nombre varie suivant la quantité de sulfate de potasse: lorsqu'elle est très-petite, la face primitive est fort large; mais lorsqu'elle devient plus grande, il se forme

(*) Il me serait impossible de donner ici une description exacte de ces formes, sans entrer dans des détails cristallographiques qui m'éloigneraient de mon sujet. Je me propose de les décrire dans un mémoire particulier, sur la cristallisation de diverses espèces de sels.

un pointement trièdre assez régulier; quelquefois il s'y joint encore une ou deux petites facettes, et le sommet a beaucoup d'analogie avec celui des cristaux mélangés de sulfate de soude.

§ 55. Au lieu de sulfate de potasse, j'ai quelquefois employé le nitrate, dont une petite quantité est décomposée pendant l'opération. Les cristaux de sulfate de cuivre, qu'on obtient alors, sont extrêmement raccourcis; la facette latérale z est très-étendue, et le sommet présente un ensemble particulier de facettes que je n'ai jamais obtenu d'aucune autre manière.

§ 56. Le sulfate d'ammoniaque est aussi très-difficile à employer, parce qu'il forme également un sel double avec le sulfate de cuivre. Néanmoins, en mettant celui-ci en très-grande quantité dans la solution, on obtient à la fin de l'opération quelques petits cristaux qui se déposent sur le sel double. Ces cristaux présentent encore une forme particulière. Le prisme est formé par les facettes M, T, z , l , r ; mais le sommet présente un pointement à quatre faces triangulaires, dont les arêtes de jonction forment deux lignes dirigées suivant les diagonales de la forme primitive. Quelquefois deux de ces faces sont si petites que le cristal semble terminé par un sommet dièdre, composé de deux faces triangulaires qui se réunissent au-dessus de la grande diagonale de la forme primitive.

Ces divers résultats me paraissent suffisans pour établir en principe que la cristallisation du sulfate de cuivre peut varier de diverses manières, suivant les différens mélanges chimiques dont le sel est susceptible.

§ 57. J'ai fait aussi beaucoup d'expériences du même genre sur le *sulfate d'ammoniaque*, qui, suivant les divers mélanges, a présenté des variations plus ou moins remarquables; mais il me serait difficile d'en donner une idée suffisante sans entrer dans de grands détails cristallographiques, parce que la cristallisation de ce sel n'a pas encore été décrite. A l'état de pureté il m'a présenté une table carrée, à double biseau sur les bords, comme la baryte sulfatée que M. Haüy a nommée *trapézienne* (*H.*, *pl. LXXV*, fig. 112); mais par le mélange du sulfate de potasse, du sulfate de soude, etc., il s'est formé, outre des sels doubles, des cristaux de sulfate d'ammoniaque, qui différaient beaucoup de la variété que je viens de citer.

§ 58. J'ai fait aussi des expériences sur le *sulfate de zinc*, le *sulfate de magnésie*, le *nitrate de potasse*, etc. Mais en général les mélanges que j'ai pu introduire n'ont produit aucun effet particulier sur la cristallisation de ces sels.

§ 59. Avant de terminer cette section, je rappellerai encore que le *muriate de soude* mélangé d'urée cristallise en octaèdre; c'est ce qui a été bien prouvé par MM. Vauquelin et Fourcroy, et ce que j'ai observé également dans des expériences à ce sujet; mais je remarquerai que la forme octaèdre n'est complète que dans le cas où il y a une assez grande quantité d'urée dans la solution; qu'autrement on obtient des octaèdres passant au cube par le remplacement des angles solides. Le muriate d'ammoniaque, mélangé d'urée, affecte la forme cubique, tandis que, dans l'eau pure, l'octaèdre est la forme qu'il prend habituellement.

QUATRIÈME SECTION.

Influence qu'exerce sur les formes cristallines la surabondance d'un des principes constituans dans la solution.

§ 60. Dans le courant des expériences dont je viens de citer les résultats, j'ai eu plusieurs fois l'occasion d'observer qu'il fallait opérer identiquement avec les mêmes sels pour obtenir constamment les mêmes variétés de cristallisation; qu'il fallait souvent, pour parvenir à un résultat fixe, employer divers moyens qui devaient nécessairement altérer l'état chimique de la solution.

Enfin j'avais observé que des cristallisations successives déterminaient quelquefois des formes particulières, dont aucune des expériences antérieures ne pouvait me rendre raison.

Les considérations fondamentales et les expériences que M. Berthollet a rapportées dans sa *Statique chimique* (tome Ier., 5e. section), m'ont conduit à penser que ces différens effets étaient dus à la surabondance d'un des principes constituans du corps dans la solution. J'ai imaginé, que, en général, ces différences de proportions pouvaient avoir une grande influence sur la production des diverses variétés de formes qu'un même sel peut affecter; et j'ai fait à cet égard des expériences directes que je partagerai en trois divisions.

(*) *Variations occasionnées par les différences de base et d'acide dans la solution.*

§ 61. *Le sulfate de fer*, d'après les diverses expériences auxquelles je l'ai soumis, me paraît

en général prendre des formes plus compliquées lorsque la solution renferme une surabondance d'acide, que lorsqu'elle est à un état à-peu-près neutre. En effet, une solution de sulfate de fer qui cristallisait naturellement en rhomboèdre remplacé sur toutes les arêtes, et sur tous les angles solides (variété *pantogène*. H. pl. LXXIX, fig. 175), n'a plus donné que des cristaux modifiés sur les angles (variété *épointée*, fig. 171); après avoir bouilli pendant quelque temps sur du carbonate ou de l'oxide vert de fer, l'addition de quelques gouttes d'acide sulfurique a de nouveau donné lieu à des rhomboèdres plus modifiés, qui présentaient la variété *équivalente*, fig. 174.

Si on prend du sulfate de fer, qui, par suite du mélange d'une certaine quantité de sulfate de cuivre, cristallise dans l'eau pure en rhomboèdre complet, on est toujours sûr de provoquer des modifications sur les parties latérales, en ajoutant quelques millièmes d'acide sulfurique à sa solution. De même les cristaux en rhomboèdres *basés*, déterminés par le mélange du sulfate de zinc, conservent toujours des facettes additionnelles latérales, si l'acide est en excès dans la solution.

Réciproquement, si les deux sortes de mélanges que nous venons de citer ont laissé subsister des facettes additionnelles, il suffit, pour les faire disparaître, de supprimer une portion de l'acide, soit en faisant bouillir la solution sur du carbonate ou de l'oxide vert de fer, soit en neutralisant le mélange par l'intermède d'un sel facilement décomposable.

§ 62. *Le sulfate de cuivre*, suivant les diffé-

rentes proportions d'acide que renferme sa solution, présente aussi des variations de formes; mais, au contraire du sulfate de fer, il paraît que la surabondance d'acide simplifie les formes, tandis que la surabondance de base les complique. En effet, du sulfate de cuivre qui, dans l'eau pure, cristallisait sous la forme que M. Haüy a nommée *isonome*, a perdu en cristallisant dans l'eau mélangée d'acide sulfurique, toutes les facettes supérieures, et n'a plus présenté que les variétés *périhexaèdre* ou *périoctaèdre*, en cristaux d'un bleu blanchâtre nacré. Ces cristaux, qui dans le principe étaient groupés, se sont tous séparés après quelques jours d'exposition à l'air.

La solution de ce même sulfate de cuivre, traitée par un précipité récent d'oxide de ce métal, a donné des formes assez compliquées et très-différentes de la variété *isonome*. Les cristaux obtenus étant placés dans leur position naturelle, présentent un prisme à huit pans très-court, terminé par une large facette oblique, et par plusieurs petites facettes particulières, aux angles solides aigus. La facette *n* du prisme est tellement étendue, qu'on est tenté de placer les cristaux dans le sens de leur plus grande longueur; c'est alors qu'ils se présentent, comme l'a dit Leblanc, en prisme quadrilatère, terminé par des espèces de pyramides à facettes inégales.

Si, au lieu de faire bouillir la solution de sulfate de cuivre sur un précipité récent de ce métal, on y fait dissoudre de l'acétate de cuivre, dont l'effet est encore de diminuer la quantité d'acide sulfurique, on obtient des cristaux qui se rapprochent beaucoup des précédens, mais

qui cependant présentent quelques différences^s que je suis porté à attribuer à ce que la quantité d'acide soustraite est plus petite.

§ 63. Le *sursulfate de potasse* m'a aussi présenté des variations suivant qu'il a cristallisé dans des solutions plus ou moins acides. Si on fait dissoudre du sulfate ordinaire de potasse dans de l'acide sulfurique concentré, on n'obtient en général qu'un magma informe par la cristallisation; mais si on ajoute seulement quelques gouttes d'eau, ou que la solution reste exposée à l'air pendant quelques jours, il se forme des cristaux de sulfate acide de potasse, qui représentent assez un tétraèdre irrégulier, et qu'on rangera probablement parmi les cristallisations indéterminées. Si l'acide sulfurique qu'on emploie est étendu de son volume d'eau, on obtient le sursulfate sous la forme de rhomboèdres aigus parfaitement nets. Si l'acide est étendu du double de son volume d'eau, on obtient des rhomboèdres *basés* (*); et enfin les solutions légèrement acidulées donnent des cristaux compliqués de plusieurs facettes particulières (**).

§ 64. Quant au *sulfate de potasse simple*, je n'oserais pas précisément affirmer que les formes sont différentes suivant les quantités d'acide renfermées dans la solution; cependant, toutes les fois que j'ai ajouté de la potasse à la solution, ou que je l'ai fait bouillir sur du carbonate de fer, j'ai obtenu de très-petits cristaux prismatiques

(*) C'est cette forme que Romé-DeLisle a citée comme un octaèdre irrégulier dans sa *Cristallographie*, t. I^{er}, p. 299 (note).

(**) Ces divers résultats sont assez en rapport avec ceux que M. Berthollet a cités. *Statique chimique*, t. I^{er}, p. 556.

très-allongés, terminés par des petites pyramides; quoique dans l'eau pure le sel cristallisât naturellement en dodécaèdre bipyramidal.

§ 65. Le *sulfate double de potasse et de magnésie*, en cristallisant dans une eau mêlée d'acide sulfurique, a donné des cristaux assez gros, très-nets, en prisme tétraèdre oblique, remplacés sur deux angles solides obtus par de larges facettes triangulaires, tandis que dans l'eau pure ces deux angles obtus étaient intacts, et les autres, au contraire, modifiés par diverses facettes.

§ 66. Les résultats les plus frappans relativement aux variations de formes occasionnées par les différences entre les proportions de base et d'acide dans la solution, et sur-tout relativement aux phénomènes particuliers que présente l'expérience, sont ceux que j'ai obtenus avec l'*alun*.

Si on fait bouillir une solution de ce sel sur un carbonate insoluble (les carbonates de fer, de plomb, de zinc, de magnésie, d'alumine, etc.), dont l'effet est d'enlever une portion d'acide, on est toujours sûr d'obtenir ensuite par la cristallisation, de l'alun sous la forme cubique; mais il est important de remarquer que les cristaux de cette forme ne se précipitent pas immédiatement, et que ce n'est qu'après plusieurs cristallisations successives, et pour ainsi dire comme par degrés qu'on arrive jusqu'à eux. En effet, lorsqu'après avoir fait bouillir une solution d'alun sur un carbonate insoluble, avoir filtré et évaporé convenablement, on l'abandonne à la cristallisation, on obtient d'abord des octaèdres parfaits. En faisant évaporer de nouveau et cristalliser, on obtient des cristaux cubo-octaèdres,

et les faces du cube sont toujours plus larges sur les cristaux qui se déposent les derniers. Après une troisième évaporation, on obtient des cristaux cubiques parfaits; enfin, en dernier résultat, on n'obtient plus qu'un magma incristallisable.

Si on fait bouillir la solution d'alun assez de temps sur le carbonate insoluble en quantité convenable, on peut obtenir des cristaux cubo-octaédres, et même des cristaux cubiques, dès la première cristallisation; mais alors la quantité de matière incristallisable est d'autant plus grande.

Je n'ai indiqué jusqu'ici les carbonates insolubles pour amener l'alun à la forme cubique, que dans l'intention de faire mieux concevoir ce qui se passe dans l'opération. On peut aussi, avec les carbonates solubles de potasse ou de soude, parvenir au même résultat; mais il me semble qu'il y a alors deux effets distincts. Aussitôt après l'addition du carbonate soluble, il se forme un précipité de carbonate d'alumine qui provient de la décomposition totale d'une portion d'alun: ce nouveau carbonate réagit ensuite sur la liqueur restante, pour lui enlever une portion d'acide; et c'est par suite de cette seconde action qu'on obtient des cristaux cubiques: si on empêche son effet, en filtrant la solution à l'instant même où l'on ajoute le carbonate soluble, il ne se produit aucun changement dans les formes de l'alun qui reste dissous. D'après cette manière de voir, je ne crois pas que l'alun cubique soit dû, comme on l'a dit quelquefois, à un excès d'alcali.

Ces expériences font voir évidemment que l'alun ne prend la forme cubique que par suite de la perte que fait la solution d'une portion de

son acide; c'est ce que démontre encore l'expérience inverse; car si on reprend ces cristaux cubiques, et qu'on ajoute quelques gouttes d'acide sulfurique à la solution, on obtient ensuite des cristaux cubo-octaédres, ou même tout-à-fait octaédres.

§ 67. Si on peut obtenir de l'alun cubique en traitant la solution de ce sel par un carbonate quelconque, il est encore un autre moyen de parvenir facilement au même résultat. Il suffit, pour cela, d'ajouter du souborate de soude à une solution d'alun, et de l'abandonner ensuite à la cristallisation. On obtient d'abord des cristaux octaédres tronqués sur les angles, puis des cristaux cubiques qui conservent des traces de l'octaèdre, et enfin des cubes parfaits. Il se dépose en même temps que ces derniers cristaux du borate d'alumine en paillettes nacrées, très-douces au toucher.

Si on se sert d'alun très-pur, et qu'on y ajoute du borate de soude neutre ou une très-petite quantité de souborate de soude, il arrive presque toujours qu'on obtient des cristaux qui présentent à-la-fois les faces du cube, celles de l'octaèdre et celles du dodécaèdre rhomboïdal; mais les premières sont ordinairement les plus grandes.

Il me paraît que les résultats de ces expériences peuvent s'expliquer ainsi. La soude que renferme une quantité donnée de souborate de soude met à nu une quantité d'alumine plus grande qu'il ne faut pour saturer l'acide borique, dès-lors la portion d'alumine surabondante réagit sur l'alun restant pour enlever une portion d'acide. Dans le cas où on emploie du borate

de soude neutre, la quantité d'alumine précipitée est proportionnellement plus petite que dans le cas précédent; dès-lors il en reste moins de libre après la saturation de l'acide borique, et par conséquent l'action exercée postérieurement sur l'alun étant beaucoup moins forte, ne peut donner lieu à des cristaux complètement cubiques.

En général, diverses modifications cristallines plus ou moins remarquables que j'ai obtenues par suite de l'action chimique réciproque de diverses sortes de corps réunis dans la même solution, me paraissent ne pouvoir être expliquées que par les variations apportées dans les proportions relatives des principes que renferme la solution; tels sont, par exemple, les résultats qu'on obtient de la solution de l'alun dans l'acide nitrique, dans l'acide muriatique, de la solution de sulfate de fer dans l'alcool, l'acide acétique, les variations que présentent le phosphate de soude par plusieurs solutions et cristallisations successives, etc., etc.

(**) *Variations occasionnées dans les sels doubles par les différences entre les quantités relatives des sels composans renfermés dans la solution.*

§ 68. Les expériences précédentes me faisaient connaître que les différences de proportions relatives de base et d'acide pouvaient occasionner des variations de formes dans les différents sels simples, ou même dans ceux qui résultent de la combinaison de deux sels, et qu'on désigne ordinairement sous le nom de *sels doubles*; mais à l'égard de ces derniers, il me paraissait

important de savoir aussi ce que pourraient produire les différences entre les quantités relatives des sels composans renfermés dans la solution, parce que les résultats devenaient directement applicables, par analogie, à diverses substances minérales, que l'on peut soupçonner formées, à la manière des sels doubles, par la combinaison de deux ou d'un plus grand nombre de substances distinctes, dont l'une ou l'autre a pu être plus ou moins abondante lorsque le corps s'est formé.

Les expériences que j'ai faites à ce sujet n'ont pas été nombreuses, mais elles me paraissent assez satisfaisantes; en effet:

§ 69. Le *sulfate double de potasse et de magnésie* affecte, en cristallisant, un prisme rhomboïdal oblique bien complet (que je considère comme la forme primitive de ce sel), toutes les fois que la solution renferme beaucoup plus de sulfate de magnésie que de sulfate de potasse. Si au contraire le sulfate de potasse est surabondant, on obtient des prismes modifiés sur les quatre angles solides aigus; dans des proportions intermédiaires, on obtient des modifications diverses sur les arêtes et sur les angles.

§ 70. Le *sulfate double d'ammoniaque et de magnésie* est aussi dans le même cas; il affecte en général des formes plus simples lorsque le sulfate de magnésie est plus abondant. Le *sulfate double de potasse et de cuivre* donne presque toujours la forme primitive, qui est aussi un prisme rhomboïdal oblique lorsque le sulfate de cuivre est en grande quantité dans la solution, et on voit les formes se compliquer à mesure que la proportion de sulfate de potasse augmente.

Le sulfate double d'ammoniaque et de cuivre, celui de potasse et de zinc, de potasse et de nickel, présentent de même des variations dans leurs formes cristallines, suivant que l'un ou l'autre des sels composans est en plus ou moins grande quantité (*).

§ 71. J'ai fait aussi varier dans les solutions d'alun les quantités relatives de sulfate de potasse et de sulfate d'alumine; mais je n'ai obtenu que peu de changemens dans la cristallisation. Si on emploie de l'alun parfaitement pur, qui ordinairement cristallise en octaèdre complet, et qu'on ajoute à sa solution une assez grande quantité de sulfate d'alumine, on obtient, en faisant cristalliser rapidement des cristaux laiteux qui présentent à-la-fois les facettes du cube, de l'octaèdre, et du dodécaèdre rhomboïdal. Si on fait cristalliser lentement, on n'obtient que l'octaèdre simple.

L'addition du sulfate de potasse à une solution d'alun pur, ne produit ordinairement aucun effet; mais dans une des expériences de ce genre, j'ai obtenu des cristaux d'alun, dont les quatre arêtes qui forment la base commune des deux pyramides de l'octaèdre, étaient remplacées par des plans assez étendus; de sorte que les cristaux se présentent comme des prismes à base carrée, terminés à chaque extrémité par une pyramide tétraèdre: c'est un cas d'exception à la symétrie ordinaire des modifications, mais qui ne peut pas, plus que quelques autres, détruire la loi

(*) Ces différens sels doubles, comparés entre eux sous le rapport de leur cristallisation, présentent des relations mutuelles fort remarquables; mais ce serait sortir de mon sujet que de les exposer ici.

générale; il prouve au contraire que les diverses exceptions connues doivent tenir à des circonstances particulières de formations.

Si à de l'alun mélangé de sulfate d'alumine, comme celui dont j'ai parlé tout-à-l'heure, on ajoute du sulfate de potasse, il se reforme de l'alun en proportions définies, qu'on obtient sous la forme d'octaèdre complet, quelle que soit la promptitude ou la lenteur de la cristallisation.

(***) *Variations cristallines d'une solution dans laquelle on a réuni des portions d'une même substance qui étaient cristallisées différemment.*

§ 72. Les résultats que m'a présentés la cristallisation de l'alun dans l'acide muriatique, et ceux que j'ai obtenus dans l'expérience relative à la formation de l'alun cubique, m'ont conduit à quelques recherches particulières que je vais maintenant exposer.

J'ai fait remarquer qu'en traitant l'alun par un carbonate insoluble pour parvenir à obtenir des cristaux cubiques, il se déposait des cristaux de différentes formes aux différentes époques de cristallisation de la solution. J'ai recueilli séparément ces divers cristaux dans l'intention de les soumettre à diverses épreuves que j'avais imaginées. J'ai d'abord fait redissoudre dans l'eau les cristaux qui avaient pris la forme octaèdre, puis j'ai abandonné la solution à l'évaporation lente spontanée. J'ai obtenu pour résultats un grand nombre de cristaux octaèdres parfaits, et quelques petits cristaux cubiques.

Ayant fait redissoudre aussi les cristaux cubiques, et soumis la solution à l'évaporation

lente spontanée, j'ai obtenu d'abord quelques cristaux octaédres, puis un grand nombre de cristaux cubiques.

Enfin les cristaux cubo-octaédres, soumis à la même épreuve, ont donné à-peu-près autant de cristaux octaédres que de cristaux cubiques.

Les deux premiers résultats m'ont fait soupçonner que, dans l'opération primitive, j'avais trop précipité la cristallisation, et que dès-lors les cristaux octaédres, en se formant, avaient entraîné, en quelque sorte mécaniquement, quelques portions d'alun cubique; de même que les cristaux cubiques avaient entraîné quelques portions d'alun octaèdre. J'ai répété alors l'expérience fondamentale, et après avoir fait bouillir la solution d'alun sur un carbonate insoluble et avoir filtré, je l'ai abandonnée immédiatement à l'évaporation lente spontanée. Dans ce cas il s'est formé, l'une après l'autre, deux sortes de cristaux, les premiers octaédres, les autres cubiques; et il n'y a pas eu de cristaux intermédiaires sous la forme cubo-octaèdre. J'ai recueilli ces cristaux séparément, puis je les ai fait dissoudre à part, et j'ai soumis leurs solutions à l'évaporation lente. Je n'ai obtenu alors dans chaque expérience que des cristaux entièrement semblables à ceux que j'avais fait dissoudre.

Pour faire une expérience synthétique comparative, j'ai fait dissoudre dans l'eau parties égales de cristaux octaédres et de cristaux cubiques d'alun. J'ai partagé la solution en deux portions, dont l'une a été abandonnée à l'évaporation lente spontanée, et l'autre a été évaporée au feu, de manière à ce qu'elle pût donner

promptement des cristaux par le refroidissement. Dans la première portion de solution, les cristaux octaédres et cubiques se sont déposés l'un après l'autre séparément; dans la seconde, il s'est formé d'abord quelques cristaux octaédres, puis une grande quantité de cristaux cubo-octaédres, et enfin des cristaux cubiques.

Les cristaux cubo-octaédres ayant été redissous de nouveau, et leur solution abandonnée à l'évaporation lente, les formes octaédres et cubiques se sont de nouveau séparées.

§ 73. Ces résultats me paraissent extrêmement importants, tant sous le rapport de la théorie des variations de formes d'une même substance, que sous celui de la composition même des cristaux de diverses formes; ils me semblent conduire à admettre que les cristaux cubiques et les cristaux octaédres sont des composés d'un ordre particulier, qui ont différens degrés de solubilité, et qui, d'après cela, sont susceptibles de se précipiter l'un après l'autre d'une même solution (comme il résulte de quelques-unes de mes expériences), de se mélanger chimiquement (et alors l'un d'eux imprime sa forme à l'autre), ou enfin de se réunir en un seul composé particulier, qui donne lieu à des cristaux qui participent à-la-fois du cube et de l'octaèdre. Ce dernier fait prouve en outre que ces deux composés ne constituent pas deux espèces distinctes.

D'après cela je serais porté à concevoir que les cristaux naturels, où l'on reconnaît les traces de plusieurs formes particulières, pourraient quelquefois être considérés comme résultans

de la réunion de diverses combinaisons des mêmes principes en proportions différentes, et dont chacune, étant isolée, donnerait la forme complète dont le cristal en question ne porte que des traces.

Si cette présomption ne peut être appuyée sur aucune observation constante, relativement aux substances minérales, les expériences que j'ai citées ne peuvent laisser aucun doute relativement aux substances salines artificielles; mais à cet égard j'en ai fait encore une autre qui trouve naturellement ici sa place.

§ 74. Je m'étais procuré dans le commerce de l'alun assez opaque en gros cristaux groupés, qui présentaient à-la-fois les faces de l'octaèdre, celles du cube et celles du dodécaèdre (variété *triforme*, H., pl. XXIX, fig. 162). J'en ai fait dissoudre une certaine quantité dans l'eau pure, et j'ai abandonné la solution à l'évaporation lente. Il s'est formé d'abord des cristaux octaèdres tronqués sur les arêtes, puis des octaèdres passant en cube. Ayant recueilli ces deux sortes de cristaux, je les ai soumis séparément à plusieurs solutions et cristallisations successives, et je suis parvenu à en obtenir des octaèdres parfaits.

J'ai recueilli alors toutes les portions de liquide qui me restaient, et après avoir fait évaporer convenablement par la chaleur, j'ai abandonné le tout à l'évaporation spontanée. Il s'est encore déposé des cristaux cubo-octaèdres, qui, par des solutions et cristallisations successives, ont donné des octaèdres parfaits; mais le reste de la solution a donné successivement des cristaux cubiques qui conservaient encore les

traces de l'octaèdre, puis des cristaux cubiques parfaits, et enfin des cristaux cubo-dodécaèdres; mais quelques moyens que j'aie pris, je n'ai pu obtenir les dodécaèdres isolément. Ces derniers cristaux étaient tous plus ou moins opaques, tandis que les cristaux octaèdres et cubo-octaèdres précipités avant eux étaient au contraire très-limpides. Le liquide restant après toutes ces opérations renfermait du sulfate d'alumine, et même de l'alumine pure.

Il me paraît évident, d'après cette expérience, que l'alun que j'ai employé était une réunion en proportions non définies d'acide sulfurique de potasse et d'alumine (et aussi d'ammoniaque, dont une partie s'est échappée pendant l'opération), et que de ces combinaisons; l'une était susceptible d'affecter la forme octaèdre, l'autre la forme cubique, et peut-être une troisième, capable de la forme dodécaèdre rhomboïdale; mais réunies ensemble par une circonstance particulière, elles ont donné lieu à des cristaux qui participaient à-la-fois des trois formes citées.

§ 75. Les diverses expériences rapportées dans cette division nous font voir comment il peut arriver qu'une même solution puisse donner des formes différentes aux diverses époques de cristallisation; et on conçoit ensuite que les mêmes circonstances pouvant avoir lieu dans la nature, il n'est pas étonnant de trouver des formes différentes d'une même substance sur un même groupe. Les différences de transparence qu'on observe souvent dans ce dernier cas, rappellent encore celles que je viens de faire remarquer dans les divers cristaux d'alun.

§ 76. Je ne rapporterai plus qu'une expérience très-ingénieuse de Leblanc, que j'ai répétée avec succès, et qui explique d'une manière claire les changemens qui arrivent quelquefois à certains cristaux par une suraddition de matière cristalline sur quelques-unes de leurs parties. On connaît la méthode que ce chimiste employait pour faire croître les cristaux en les changeant successivement de solution. Or, dans quelques expériences, après avoir obtenu des cristaux octaèdres d'alun d'une certaine grosseur, il les a placés dans une solution qui donnait naturellement des cristaux cubiques; il a observé alors qu'il se déposait autour du cristal des lames concentriques à l'octaèdre, mais qui, au lieu de terminer complètement ce polyèdre, laissaient à chaque angle une face qui formait le passage à la forme cubique, et donnait ainsi lieu à la variété cubo-octaèdre; cette face augmentait en étendue à mesure que le cristal devenait plus gros, et en dernier résultat l'octaèdre se trouvait tout-à-fait enfermé dans le cube circonscrit. Ce même résultat avait lieu en sens inverse sur des cristaux cubiques placés dans une solution qui donnait naturellement l'octaèdre. Ces cristaux cubo-octaèdres sont en général formés comme ceux que j'ai obtenus dans les expériences précédentes, de deux composés distincts; mais il y a cette différence, que dans les cristaux de Leblanc, les composés différens sont seulement superposés, tandis que dans les miens ils sont réunis intimement.

RÉSUMÉ.

§ 77. Parmi les résultats que j'ai obtenus de mes expériences, il y en a qui m'ont présenté des formes cristallines différentes d'un même sel; d'autres m'ont offert seulement divers genres de phénomènes plus ou moins remarquables, mais sans changement de forme.

Les premiers, c'est-à-dire les variations de forme d'un même sel, dans des circonstances déterminées, étant d'un bien plus grand intérêt, tant par l'application plus immédiate qu'on peut en faire à la minéralogie, que parce qu'ils nous éclairent sur l'étude des substances qui ont été l'objet de mes expériences, il m'a semblé utile de commencer par les isoler des autres en en présentant d'abord un résumé succinct, par ordre de substances: je les reprendrai ensuite avec tout l'ensemble des résultats de mes expériences, mais dans l'ordre général des phénomènes.

I. *Résumé particulier des variations de forme de plusieurs sels dans des circonstances déterminées.*

1°. *Sulfate de fer.*

§ 78. Ce sel cristallise constamment:

En rhomboèdre simple, par le mélange chimique du sulfate de cuivre ou du sulfate de nickel (§ 41 à 43);

En rhomboèdres tronqués au sommet, par le mélange du sulfate de zinc ou du sulfate de magnésie (§ 44 et 45);

En rhomboèdres tronqués sur les angles solides latéraux, par le mélange du sulfate d'alumine (§ 46);

En rhomboèdres tronqués à-la-fois sur tous les angles solides, par l'action du borate et du phosphate de soude, ou en cristallisant dans l'acide muriatique (§ 38, b).

L'addition de quelques gouttes d'acide sulfurique dans la solution détermine des facettes additionnelles que le sel ne prenait pas avant (§ 61).

La soustraction d'une portion d'acide, par un moyen quelconque, détruit au contraire la tendance que ce sel peut avoir naturellement à prendre diverses facettes additionnelles (§ 61).

Le mélange mécanique d'une matière étrangère détermine également plus de simplicité dans les cristaux (§ 28).

2°. Sulfate de cuivre.

§ 79. Ce sel, soumis à diverses épreuves particulières, a présenté :

La forme primitive tronquée sur les arêtes latérales obtuses, en cristallisant dans l'eau mélangée d'acide sulfurique (§ 62);

La forme primitive tronquée sur les arêtes latérales aiguës, très-allongée dans le sens du prisme, et modifiée à sa base par quelques facettes très-étroites, en cristallisant dans une solution de nitrate de cuivre (§ 37);

La forme primitive tronquée sur toutes les arêtes latérales, par le mélange du sulfate de nickel ou du sulfate d'alumine (§ 50, 51);

Enfin *des formes très-variées*, qui jusqu'ici n'ont pas été décrites par l'effet des mélanges des sulfates de soude, de potasse, d'ammoniaque, d'étain, de mercure, ou par l'effet de

la perte d'une portion de son acide, etc. (§ 52, 53, 54, 55, 56, 62).

3°. Alun.

§ 80. Dans des circonstances diverses ce sel donne :

L'octaèdre complet, lorsqu'il est pur et amené à un état bien fixe de combinaison, ou lorsqu'il est mélangé mécaniquement de matières étrangères (§ 28);

Le cube, lorsque la solution est privée d'une portion d'acide, soit par l'action d'un carbonate, soit par celle du sous-borate de soude (§ 66, 67);

Le cubo-octaèdre, en cristallisant dans l'acide nitrique, ou par suite de la cristallisation rapide d'une solution qui renferme en même temps de l'alun cubique et de l'alun octaèdre (§ 38, 72);

Le cubo-icosaèdre, en cristallisant dans l'acide muriatique (§ 38, b);

Le cubo-octo-dodécaèdre, par l'addition d'une petite quantité de borate de soude à une solution d'alun pure (§ 67).

4°. Soude muriatée.

§. 81 Ce sel cristallise :

En *cube*, dans l'eau pure;

En *octaèdre*, par le mélange chimique d'une quantité suffisante d'urée (§ 59);

En *cubo-octaèdre*, par le mélange d'une petite quantité d'urée, ou l'influence du borate de soude, ou mieux encore de l'acide borique (§ 59, 37).

5°. Ammoniaque muriaté.

§ 82. Ce sel cristallise :

En *octaèdre*, dans l'eau pure;

En *cube*, par le mélange d'une certaine quantité d'urée (§ 59);

En *cubo-octaèdre*, par l'influence d'un sel de cuivre dans la solution (§ 37).

6°. *Sulfate acide de potasse.*

§ 83. Ce sel cristallise :

En une espèce de *tétraèdre irrégulier*, dans l'acide sulfurique concentré (§ 63);

En *rhomboèdre complet*, dans l'acide sulfurique étendu de son volume d'eau (§ 63);

En *rhomboèdre tronqué au sommet*, dans l'acide sulfurique étendu du double de son volume d'eau (§ 63);

En *cristaux plus ou moins compliqués*, à mesure que l'acide devient moins abondant dans la solution (§ 63).

7°. *Sulfate double de potasse de magnésie.*

§ 84. Ce sel affecte :

Un *prisme oblique à base rhombe*, lorsque le sulfate de magnésie est surabondant dans la solution (§ 69).

Le même *prisme tronqué sur les deux angles solides obtus*, en cristallisant dans l'eau mélangée d'acide sulfurique (§ 65);

Le même *prisme modifié sur les angles solides aigus*, lorsque le sulfate de potasse est surabondant (§ 69).

8°. *Sulfate double de potasse et de cuivre.*

§ 85. Ce sel affecte un *prisme oblique à base rhombe*, lorsque le sulfate de cuivre domine, et des formes plus ou moins compliquées, à mesure que les proportions des deux sels composans varient, ou que la quantité d'acide est plus ou moins abondante dans la solution, etc. (§ 70).

§ 86. En considérant tous ces résultats généralement, on reconnaît que les circonstances qui ont déterminé les variations de formes que je viens de citer, peuvent être réduites à quatre causes fondamentales; savoir :

1°. Les mélanges mécaniques de matières étrangères qu'un sel peut entraîner dans sa cristallisation;

2°. L'influence des corps étrangers, solides, liquides, ou gazeux, qui peuvent se trouver en solution avec un sel, sans que les cristaux qui se précipitent en soient mélangés en aucune manière;

3°. Les mélanges chimiques de matières étrangères qu'un sel peut entraîner avec lui dans sa cristallisation;

4°. Les variations entre les proportions relatives des principes constituans des sels.

Chacune de ces quatre causes modifiantes générales détermine une forme particulière et constante toutes les fois qu'elle agit isolément; mais ce n'est que par des précautions particulières, dans des circonstances qu'il est difficile de rencontrer naturellement, qu'elles se trouvent ainsi isolées; presque toujours plusieurs d'entre elles agissent simultanément, et c'est à ces actions, réunies deux à deux, trois à trois, etc., que paraît due la multiplicité des variétés cristallines qu'une même espèce de sel est susceptible d'affecter.

II *Résumé général des différens effets produits par différentes causes dans la cristallisation des sels.*

§ 87. 1°. L'état de l'atmosphère, le plus ou le moins de promptitude de l'évaporation (lors-

qu'on opère sur des sels parfaitement fixes), la forme des appareils, leur nature, la masse de la solution, son état de concentration, ne paraissent influer en aucune manière sur les formes cristallines que peuvent prendre les sels. Les seuls effets que provoquent ces circonstances sont, plus ou moins de netteté, d'isolement et de grosseur dans les cristaux (§ 14 à 24).

2°. Par une atmosphère humide, les sels dans des solutions peu concentrées ont une grande tendance à grimper sur les parois des vases, où ils forment des végétations cristallines saillantes, qui s'accroissent de bas en haut par des molécules cristallines qui viennent s'appliquer au-dessous de celles qui se sont déposées les premières et les poussent constamment dehors (§ 15).

3°. Les solutions très-étendues, à l'abri du contact de l'air et sans évaporation quelconque, peuvent fournir des cristaux dans un espace de temps plus ou moins considérable; mais il paraît que cet effet a plus particulièrement lieu sur les sels qui possèdent le moins de solubilité (§ 17).

4°. Les cristaux sont en général d'autant plus gros que la masse de la solution saline dont ils se précipitent est plus considérable (§ 19).

5°. Les appareils étroits, en provoquant la même quantité de liquide à s'élever plus haut, déterminent dans les cristaux un volume beaucoup plus considérable que celui qu'ils prennent dans des appareils larges (§ 20).

6°. La nature des appareils, exerçant des attractions différentes sur les sels, détermine les cristaux à se déposer plus ou moins prompte-

ment, à se grouper de différentes manières dans les différentes parties de la solution; si les vases sont enduits d'une couche de graisse, la cristallisation se fait toute entière à la surface du liquide (§ 21).

7°. La position dans laquelle les cristaux se forment au milieu de la masse liquide n'a d'autre influence que de produire plus ou moins d'extension du cristal dans un sens plutôt que dans l'autre; les facettes qui terminent sont du reste constamment en même nombre et en même position (§ 22).

8°. La température et l'état électrique de la solution ne paraissent avoir aucune influence sur la forme des cristaux; seulement à des températures élevées la cristallisation est irrégulière, et les masses salines qui en résultent sont très-fragiles.

Les températures basses ne m'ont présenté des effets particuliers que dans des circonstances où les sels employés pouvaient avoir changé de nature (§ 23, 24).

9°. Les étincelles électriques lancées par momens sur une solution prête à cristalliser, déterminent des centres de cristallisation en étoiles. Les mouvemens vibratoires imprimés au vase qui renferme la solution provoquent des centres de cristallisation qui correspondent à-peu-près aux nœuds des vibrations (§ 24).

10°. Les matières en suspension presque permanente dans une solution saline n'exercent aucune action pour faire varier la cristallisation. Ces matières se déposent souvent par couches concentriques dans le cristal (*) (§ 26).

(*) Je rappellerai encore ce que j'ai déjà énoncé à ce sujet dans la 2^e section, que relativement à ce résultat et aux deux

11°. La cristallisation d'un sel ne peut s'opérer au milieu d'un dépôt de matières étrangères en particules très-fines et incohérentes, qu'autant qu'il surnage une portion de liquide au-dessus de ce dépôt. Les cristaux qui se forment sous cette condition entraînent toujours une portion de matière étrangère qui se trouve disséminée plus ou moins uniformément dans leur masse, et qui n'est jamais disposée par couches concentriques. Lorsque la solution est peu concentrée, les cristaux se groupent les uns sur les autres, et ils sont toujours d'une forme plus simple, plus régulière que celle qu'ils auraient adoptée en se formant librement. Dans le cas d'une solution très-concentrée, il se forme dans le dépôt des cristaux isolés, dont les faces sont creusées plus ou moins profondément en trémies (§ 27 à 30).

12°. La cristallisation d'un sel peut s'effectuer au milieu d'un dépôt de consistance gélatineuse, sans qu'il y ait du liquide surnageant. Les cristaux n'entraînent alors aucune portion de matière étrangère, et ne subissent aucune variation de forme; mais ils sont presque toujours isolés, d'une régularité et d'une netteté remarquables dans toutes leurs parties (§ 31, 32, 33).

13°. Lorsque plusieurs sels se trouvent en solution dans le même liquide, il paraît que, sans être susceptibles de se mélanger ni d'agir chimiquement l'un sur l'autre, ils peuvent s'in-

suivans, j'ai pris tout exprès les deux extrêmes pour mieux faire ressortir la différence des effets; mais il peut exister entre ces extrêmes beaucoup d'intermédiaires qui donnent lieu à des résultats qui participent à-la-fois des trois que j'ai cités principalement.

fluencer mutuellement sous le rapport de leur cristallisation; de sorte que tel ou tel sel, en cristallisant dans une solution qui en renferme en même temps un autre, peut affecter des formes particulières qu'il ne prend pas dans des circonstances différentes. C'est ainsi, par exemple, que la soude muriatée prend la forme cubo-octaèdre lorsqu'elle cristallise au milieu d'une solution de borax, ou mieux d'acide borique (§ 37).

14°. Les formes qu'un même sel est susceptible d'affecter varient suivant la nature du liquide dont elles se précipitent; c'est ainsi que l'alun prend la forme cubo-octaèdre en cristallisant dans l'acide nitrique, et la forme cubo-icosaèdre en cristallisant dans l'acide muriatique (§ 38).

15°. Toutes les fois que plusieurs sels peuvent se mélanger chimiquement, c'est-à-dire se réunir sans être en combinaison définie, il en résulte toujours, pour les sels dont le système de cristallisation domine, des formes particulières qui diffèrent de celles qu'il affecte lorsqu'il est pur, qui diffèrent entre elles suivant la nature du corps mélangé, et qui sont constamment les mêmes avec le même mélange, tant que d'autres causes n'y joignent pas leur action modifiante. C'est ce que j'ai prouvé par les expériences sur le sulfate de fer, le sulfate de cuivre, etc. (§ 40 à 59.)

16°. Les différens sels présentent en général des formes différentes dans le même système de cristallisation, suivant que la solution dont ils se précipitent renferme plus ou moins d'acide. Ainsi, un sel déterminé, qui, par une cause

quelconque, est susceptible d'affecter une forme particulière, peut être ramené à une forme plus ou moins différente, tantôt plus simple, tantôt plus composée, par l'addition de quelques gouttes de son acide à la solution, ou par la soustraction d'une partie de cet acide. C'est ainsi que le sulfate de fer, le sulfate de cuivre, l'alun, etc., m'ont présenté des variations de formes plus ou moins remarquables (§ 61 à 67).

17°. Les sels doubles présentent aussi des résultats différens de cristallisation, suivant que l'un ou l'autre des sels composans se trouve en plus ou moins grande quantité dans la solution. C'est ainsi que le sulfate double de potasse et de magnésie prend la forme d'un prisme oblique rhomboïdal lorsque le sulfate de magnésie domine, et des formes plus ou moins compliquées dans d'autres proportions relatives des sels composans (§ 68 à 71).

18°. L'action chimique qui, en soustrayant ou ajoutant une portion d'acide, tend à déterminer une forme particulière, produit des effets particuliers, suivant son énergie, et donne souvent lieu à-la-fois à plusieurs variations cristallines. C'est ainsi que l'action d'un carbonate insoluble sur l'alun détermine dans la même solution des cristaux octaèdres, des cristaux cubo-octaèdres, des cristaux cubiques, et une matière cristallisable qui renferme encore moins d'acide que les précédentes; l'action du sous-borate de soude, celle de l'acide muriatique, produisent encore des effets analogues (§ 58, 66, et 67, 6).

19°. Lorsque les cristaux simples, de formes

différentes, d'un même sel, sont redissous ensemble dans le même liquide, il peut arriver deux cas : si la cristallisation se fait lentement, les cristaux de forme différente se déposent l'un après l'autre séparément; mais si la cristallisation se fait rapidement, il se forme un seul composé mixte, qui donne lieu à des cristaux qui participent à-la-fois de l'une et de l'autre forme simple. C'est ainsi que des cristaux octaèdres d'alun et des cristaux cubiques peuvent se réunir et donner des cristaux cubo-octaèdres (§ 72, 73).

20°. Les cristaux d'une forme complexe peuvent quelquefois être décomposés en plusieurs formes par diverses solutions et diverses cristallisations lentes successives; c'est ainsi que des cristaux d'alun cubo-octaèdres ont été décomposés en cristaux cubiques et en cristaux octaèdres; c'est ainsi que de l'alun cubo-octo-dodécaèdre a fourni séparément des octaèdres, des cubes et des cubo-dodécaèdres (§ 72 et 74).

21°. Enfin des cristaux d'une certaine forme étant placés dans une solution de la même substance qui donne naturellement une forme différente, s'accroissent par suraddition, suivant cette nouvelle forme : on peut les faire croître de nouveau, suivant la première, en les plongeant dans la solution qui les avait fait naître, ou les modifier autrement, en les plaçant dans une solution qui produise une autre forme. C'est ce qui résulte des expériences de Leblanc, et que j'ai vérifié dans diverses occasions (§ 76).

Application aux substances minérales.

§ 88. Le but direct de toutes les expériences que j'ai successivement entreprises étant de par-

venir à expliquer les variations de formes cristallines que présente chaque substance minérale; il me reste, après avoir résumé les différens résultats auxquels je suis arrivé, à discuter leur application aux minéraux, d'après les indications fournies par la nature.

Je suis bien loin de prétendre que la nature, pour faire varier la cristallisation des corps qui se forment dans son sein, soit uniquement restreinte à des causes modifiantes analogues à celles que l'expérience m'a fait reconnaître; mais en comparant les faits naturels avec ceux que j'ai observés dans le cours de mon travail, il me semble trouver assez d'analogie pour pouvoir conclure, avec quelques probabilités, que les causes que j'ai assignées sont au moins au nombre de celles qui provoquent les diverses variations cristallines qui se présentent à nous.

§ 89. En effet, si je recherche d'abord l'action des mélanges mécaniques sur la cristallisation des substances minérales, je trouve, dans le peu de cas que je puis examiner, qu'elle produit des effets absolument semblables à ceux que j'ai obtenus sur les sels; c'est-à-dire qu'elle empêche la formation des facettes additionnelles.

L'axinite est la substance qui présente cet effet de la manière la plus évidente. On sait que le même échantillon porte quelquefois sur un côté des cristaux mélangés de chlorite et en parallélipèdes obliques parfaitement complets, tandis que sur l'autre côté il présente des cristaux mécaniquement purs, qui portent des facettes additionnelles plus ou moins nombreuses.

La chaux carbonatée quarzifère de Fontaine-

bleau n'a jamais été trouvée que sous la forme de rhomboèdres, parfaitement simples dans toutes leurs parties. Le quartz hématoïde, qui résulte d'un mélange d'oxide de fer, ne présente jamais les facettes additionnelles qui modifient quelquefois les cristaux de quartz pur, et très-rarement les irrégularités très-fréquentes dans ces derniers.

§ 90. On peut aussi observer sur les cristaux naturels qui se sont formés au milieu d'une pâte de matière étrangère, des caractères accidentels analogues à ceux que j'ai fait remarquer dans mes cristaux artificiels. Si la pâte est grossière, formée de particules incohérentes, les cristaux sont formés de lames concentriques disjointes, et leurs faces sont creusées en trémies plus ou moins profondes: tels sont, par exemple, les cristaux de quartz, qu'on trouve près de Chamouni, dans un amas de matières terreuses incohérentes.

Si la pâte est formée de particules très-fines, les cristaux qui se forment au milieu d'elles sont parfaitement nets dans toutes leurs parties, et complètement isolés: tels sont les cristaux de boracite, de fer carbonaté, etc., qu'on rencontre au milieu des gypses.

§ 91. L'action modifiante, déterminée par les différens corps qui peuvent être dissous dans le même liquide, me paraît devoir être très-fréquent dans la nature, puisqu'en général les substances minérales ont rarement cristallisé seules. Nous acquérons, en quelque sorte, la preuve de l'influence de cette cause, par les observations rapportées au commencement de ce mémoire, qui nous ont fait reconnaître qu'en

général la même substance présente des formes différentes dans des associations différentes. En effet, nous avons remarqué que les arragonites qu'on trouve dans les masses argileuses, mélangées de chaux sulfatée, diffèrent, par leur cristallisation, de celles qu'on rencontre au milieu des minerais de fer, de même que celles-ci diffèrent de celles que l'on trouve dans les produits volcaniques (§ 6).

Mais sans revenir ici sur les différens exemples que j'ai cités dans les préliminaires, et sans exposer tous ceux qu'on pourrait y joindre, je rapporterai ce que j'ai observé moi-même à Traverselle (Piémont), dans le courant d'août 1817. J'y ai rencontré le fer oxidulé dans trois roches différentes, très-rapprochées les unes des autres; savoir: dans des serpentines, dans des roches pyroxéniques et dans des stéatites jaunes. Or, dans les premières, cette substance était en octaèdres complets; dans les secondes, en octaèdres passant au cube par le remplacement des angles solides; et dans les stéatites jaunes, où elle était accompagnée en outre de calcaire, je n'ai trouvé que le dodécaèdre rhomboïdal. Il me paraît impossible de ne pas regarder au moins comme probable que ces différences tiennent à l'action des substances au milieu desquelles les cristaux se sont formés.

§ 92. L'action des mélanges chimiques paraît aussi produire sur les substances minérales des effets analogues à ceux qu'elle provoque dans les sels artificiels; car la chaux carbonatée, mélangée de fer et de magnésie, cristallise toujours en rhomboèdres primitifs à faces très-contournées et groupées irrégu-

lièrement. La chaux carbonatée, mélangée en proportions variables de carbonate de magnésie, affecte ordinairement le rhomboèdre primitif: c'est sous cette forme qu'on la trouve empâtée dans toutes les roches talqueuses des Alpes (1).

Il est difficile, dans l'état actuel de la science, de pouvoir reconnaître les effets que les mélanges chimiques ont pu avoir sur la cristallisation des substances minérales. La difficulté tient à trois causes principales: l'une est que pour les recherches d'analyse on a toujours pris, avec raison, les parties les plus pures de la substance, et que dans les résultats on a été conduit souvent à faire abstraction des matières étrangères; l'autre est, qu'à l'exception des substances acidifères et de quelques métaux, nous ne connaissons nullement la composition définie des diverses espèces minérales, et que dès-lors il est impossible de déterminer quelles sont les matières mélangées; une troi-

(1) Peut-être voudra-t-on élever ici une objection d'après les différences d'angle que M. Wollaston a trouvées, avec son goniomètre à réflexion, entre la chaux carbonatée pure et la chaux carbonatée magnésifère. On sait que l'une lui a donné $105^{\circ}4,5$ et l'autre $106^{\circ}4,15'$, et que d'après cela il a jugé qu'on devait distinguer deux espèces particulières. Mais sans entrer dans aucune discussion à l'égard de ces deux espèces, je ferai remarquer que, dans tout état de cause, ma proposition n'en existera pas moins; car, d'après les diverses analyses, la quantité de carbonate de magnésic varie considérablement: de sorte qu'en admettant l'espèce *carbonate double de chaux et de magnésie*, il faudra admettre aussi un mélange chimique, tantôt de carbonate de magnésic, tantôt de carbonate de chaux. Or, dans le cas où le carbonate de chaux domine, les cristaux se présentent sous la forme de rhomboèdre primitif; c'est ce qui a lieu dans les roches talqueuses des Alpes.

sième cause enfin, est que les chimistes, dans leurs analyses, n'ont presque jamais désigné rigoureusement les variétés de cristallisation du minéral qui en a été l'objet. Cependant si on considère que les analyses diverses d'une même substance présentent souvent des résultats très-différens, et que dans la nature les espèces minérales cristallisent rarement seules, on sera porté à concevoir qu'une espèce déterminée peut souvent se trouver mélangée chimiquement de telle autre: or, d'après mes expériences sur les sels, il est probable que ces substances étrangères exercent une action modifiante sur la cristallisation de celle dont la forme domine.

§ 93. Quant aux modifications occasionnées par les variations dans les proportions relatives des corps susceptibles de combinaison que renferme une solution, il faut nécessairement recourir à des expériences particulières pour reconnaître si elles ont lieu dans la nature. J'ai fait quelques expériences sur des cristaux divers de carbonate de chaux, d'ailleurs parfaitement purs, et j'ai cru trouver quelques petites différences dans le volume de gaz acide carbonique, retiré d'un même poids de carbonate; mais comme ce sont des opérations extrêmement délicates, qui paraissent d'ailleurs contradictoires avec beaucoup d'expériences analytiques, je n'en tirerai aucune conclusion positive.

Je ferai cependant remarquer que dans les diverses analyses d'une même substance acidifère, faites ou répétées par les chimistes les plus habiles, et où par conséquent on ne saurait soupçonner d'erreurs, il existe souvent des pe-

tes différences de proportions entre les quantités relatives d'acide et de base. On trouve d'ailleurs dans la statique chimique un grand nombre d'exemples qui prouvent que ces petites variations pourraient exister dans les substances naturelles. Or, comme d'après quelques-unes de mes expériences ces variations de composition, quoique dans des limites assez restreintes, donnent encore des formes cristallines particulières, on pourrait soupçonner que les analyses dont je viens de parler ont été faites sur des cristaux différens de la même substance.

D'un autre côté, en partant des observations de Leblanc, qui constatent qu'un cristal octaèdre d'alun, placé dans une solution d'alun cubique, subit une suraddition de matière cristalline qui le fait passer au cube (§ 76), je serais porté à concevoir que les suradditions que nous observons dans les cristaux naturels (§ 6) tiennent aussi à ce que le cristal, d'abord d'une certaine forme, s'est trouvé entouré après coup d'une solution capable, par une cause quelconque, de produire des cristaux différens; mais parmi ces causes, on doit, ce me semble, compter celle qui provient des variations entre les proportions relatives d'acide et de base que renferme la solution, d'autant mieux que la matière additive, lorsqu'elle n'est pas mélangée de matières étrangères qui la colorent, présente souvent une opacité ou une translucidité laiteuse qui rappelle celle que présente ordinairement l'alun cubique.

Enfin les échantillons qui présentent des cristaux différens de la même substance, dont les positions relatives annoncent des époques diffé-

rentes de formation (§ 6), me paraissent fournir encore un argument en faveur des variations occasionnées par les différences de proportion de principes susceptibles de combinaison que renferme une solution; car ces dépôts successifs de cristaux de diverses formes présentent une analogie frappante avec les dépôts successifs d'octaèdres, de cubo-octaèdres, de cube, de cubo-dodécaèdre, que j'ai obtenus d'une même solution d'alun, où les élémens de cette substance, par suite de diverses circonstances déterminées, étaient en proportions très-illimitées (§ 38, 66, 67, 72, 73, 74). Je soupçonnerais donc par analogie que la solution d'où ces cristaux naturels se sont successivement précipités ne renfermait pas des proportions définies des élémens de la substance à laquelle ils se rapportent, et que par suite d'une cristallisation lente, qui paraît être le cas ordinaire de la nature, les élémens se sont partagés en diverses réunions particulières qui ont donné lieu aux diverses variétés cristallines qu'on observe sur l'échantillon.

§ 94. On sent bien que ce ne sont là en général que des présomptions qui auraient besoin d'être vérifiées par des observations ultérieures sur la nature, et par des expériences précises d'analyse; mais d'après l'ensemble des analogies que je viens de citer, ces présomptions me paraissent avoir un certain degré de probabilité; et comme dans une matière aussi délicate il est à croire que nous ne pourrions jamais obtenir que des probabilités plus ou moins grandes, il m'a semblé que ces applications de mes résultats pouvaient déjà présenter quelque intérêt; et c'est

ce qui m'a enhardi à les soumettre à l'Académie.

§ 95. On voit d'après tout ce qui précède combien il serait utile de diriger les observations sous le point de vue de vérifier plus particulièrement les causes modifiantes que je viens d'annoncer, et de déterminer en général quelles sont les circonstances précises (soit de mélanges mécaniques ou chimiques, soit de l'influence de différens corps présens dans la solution, soit des proportions des principes composans ou de toute autre cause), qui provoquent dans tel ou tel minéral telle ou telle variété cristalline. C'est un nouveau champ d'observations à-la-fois minéralogiques et chimiques, qui peut conduire à un grand nombre de conséquences très-importantes, lorsque l'on aura acquis des données assez certaines.

En effet, d'une part, la connaissance des causes qui déterminent les modifications cristallines de telle ou telle espèce minérale peut devenir très-importante pour la géologie, puisqu'alors l'examen des cristaux pourrait nous apprendre quelle était la nature du liquide qui remplissait tel ou tel filon, qui couvrait telle ou telle contrée, et quelles sont les circonstances de ce genre qui se sont succédé dans les diverses localités.

D'un autre côté, la cristallographie, qui déjà fournit un caractère certain pour la distinction des espèces minérales, pourra peut-être acquérir un jour un plus haut degré d'importance, et nous conduire à fixer au moins dans quelques cas, par la seule détermination des formes cristallines, quelles sont les proportions relatives des principes constituans d'un corps, quelle

est la nature des substances qui s'y trouvent chimiquement mélangées, et quelles sont les circonstances qui ont accompagné sa formation. C'est ce qu'on peut déjà faire par rapport aux différens sels de mes expériences. J'ai eu moi-même l'occasion de faire une application de ce genre à des sels qu'on fabrique en Angleterre, et que par curiosité on fait cristalliser sur des morceaux de roches. L'inspection seule des formes cristallines que présentaient plusieurs de ces sels m'a mis à même de prononcer qu'ils renfermaient tel ou tel mélange, ou qu'ils avaient cristallisé dans telle ou telle circonstance. L'analyse et des renseignemens subséquens ont pleinement confirmé ma conjecture.

Mais pour parvenir à vérifier si la nature admet réellement les quatre genres de causes modifiantes que j'ai observées, pour déterminer tous les autres moyens qu'elle peut avoir à sa disposition, et reconnaître l'influence de chaque espèce de cause particulière sur la cristallisation de chaque substance minérale, il faut que la minéralogie et la chimie marchent constamment ensemble pour s'éclairer, se guider et se redresser mutuellement dans la route difficile de cette nouvelle branche d'observations.

SUR LES ESSAIS QUI ONT ÉTÉ FAITS DANS
LA FONDERIE DE LAITON DE JEMMAPE,
AVEC LA BLENDE DE PONTPÉAN,

*Extrait d'un rapport adressé, le 22 décembre
1817, à M. BECQUEY, conseiller d'état,
directeur général des ponts et chaussées et
des mines;*

PAR M. P. BERTHIER, Ingénieur au Corps royal
des Mines.

ON divisera ce mémoire en trois chapitres : dans le premier on décrira succinctement le procédé qu'on suit habituellement à Jemmappe pour fabriquer le laiton ; dans le second on fera connaître avec détails les expériences qui ont été entreprises, tant pour perfectionner ce procédé que pour chercher à remplacer la calamine par la blende ; dans le troisième enfin on comparera entre eux le procédé actuel et les divers procédés auxquels auront conduit les expériences, et on tirera de cette comparaison quelques conséquences importantes pour l'industrie française.

CHAPITRE I^{er}.

Description succincte du procédé actuel (1).

Les fours ont à Jemmappe, comme dans la plupart des usines à laiton, la forme d'un dôme ou d'un four de boulanger, surhaussé et ouvert

Fours.

(1) Nous renvoyons pour les détails aux ouvrages cités *Annales des Mines*, tome III, page 65.