

RECHERCHES SUR LES RELATIONS  
QUI PEUVENT EXISTER ENTRE LA FORME CRISTALLINE,  
LA COMPOSITION CHIMIQUE  
ET LE SENS DE LA POLARISATION ROTATOIRE (1)

L'étude des questions relatives à la constitution moléculaire des corps a toujours excité le plus vif intérêt. Chacun apprécie l'importance d'une pareille étude, et mesure les conséquences nombreuses auxquelles peut donner lieu le moindre progrès fait dans cette voie. Pour résoudre ces questions, les recherches purement chimiques ont eu déjà et peuvent avoir à l'avenir une grande influence. Mais il faut y joindre toutes les autres épreuves que fournissent la physique et la cristallographie; et, dans les applications de cette dernière science, il est très utile de ne pas envisager la forme cristalline à un point de vue purement géométrique. C'est avec cet ordre d'idées que j'ai entrepris et que je poursuivrai les recherches que j'ai l'honneur de présenter à l'Académie.

Ce travail se divise en deux parties. Dans la première j'établis, entre les formes cristallines des tartrates et des paratartrates, des relations curieuses et peut-être fécondes en inductions nouvelles par leur existence constante dans des sels neutres ou acides, simples ou doubles, dont la composition chimique est tout à fait différente. En voyant ces analogies de formes entre des corps qui, au point de vue de la composition, n'offrent aussi que des analogies telles qu'il peut en exister entre tous les sels d'un même acide, on se demande si l'isomorphisme ne serait pas un cas limite en quelque sorte, et si la belle découverte de M. Mitscherlich ne serait pas un cas particulier d'une théorie plus générale. J'établirai, d'autre part, dans la première partie de ce travail, le fait important de l'hémiédrie de tous les

1. *Annales de chimie et de physique*, 3<sup>e</sup> sér., XXIV, 1848, p. 442-459 (11 figures). — Ce Mémoire, mentionné seulement dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 9 octobre 1848, XXVII, p. 367, sous le titre « Recherches sur les relations qui peuvent exister entre la forme cristalline, la composition chimique et le sens du pouvoir rotatoire », a fait l'objet d'un rapport de M. Biot, qu'on trouvera à la fin du présent volume : Document I. (*Note de l'Édition.*)

tartrates, ce qui nous conduira naturellement à la deuxième partie, qui a trait à la liaison de la forme cristalline avec le sens de la polarisation rotatoire.

M. Delafosse a publié, il y a quelques années, des recherches remarquables sur la cristallisation, où l'hémiédrie est présentée dans ses relations avec la structure physique interne du cristal à un point de vue nouveau que confirment les résultats de ce travail. Je montre, en effet, que l'hémiédrie est liée avec le sens de la polarisation rotatoire. Or, ce dernier phénomène étant moléculaire et accusant une dissymétrie dans les molécules, l'hémiédrie, à son tour, se trouve donc en étroite connexion avec la dissymétrie des derniers éléments qui composent le cristal.

#### PREMIÈRE PARTIE

##### *Tartrates et paratartrates* <sup>(1)</sup>.

M. de La Provostaye a publié, dans les *Annales de chimie et de physique*, 3<sup>e</sup> sér., t. III [1841, p. 129-150], un travail étendu sur les formes cristallines des tartrates et des paratartrates. Les détails du Mémoire de ce savant physicien me permettront d'être court dans la description des formes cristallines de ces sels. Je dirai seulement ce qui est nécessaire à l'intelligence des observations nouvelles que j'ai faites sur chaque sel en particulier.

*Tartrate neutre d'ammoniaque.* — Le tartrate neutre d'ammoniaque cristallise dans le système du prisme oblique à base rectangle (fig. 1 et 2). La forme primitive simple ne se rencontre pas; elle porte toujours diverses modifications; mais je ne considérerai d'abord que la modification  $b^1$  portant sur l'arête B. On a :

$$\begin{aligned} P : M &= 88^{\circ}, 9' \\ P : b^1 &= 127^{\circ}, 40'. \end{aligned}$$

Le prisme est très peu oblique puisque l'angle de la base sur la face verticale M ne diffère que de  $1^{\circ}, 51'$  de l'angle droit.

Cela posé, je puis dès à présent signaler la relation curieuse des formes cristallines des tartrates et des paratartrates. Nous allons voir, par l'examen de ces formes, qu'elles peuvent être regardées comme dérivant d'un prisme rectangulaire droit ou oblique, mais très

1. Dans le volume qu'il projetait en 1878 sur la Dissymétrie moléculaire, Pasteur a changé au cours du texte *paratartrate* en *racémate* et il a mis cette note : « Les mots racémique et paratartrique sont synonymes. » (*Note de l'Édition.*)

peu oblique, dans lequel le rapport des longueurs des arêtes C et D, c'est-à-dire de deux des trois axes de la forme primitive, sera donné par une facette  $b'$  toujours sensiblement inclinée de même sur les faces P et M. On aura toujours :

Angle de P sur M, voisin de  $90^\circ$ ;  
Angle de P sur  $b'$ , voisin de  $130^\circ$ .

Il n'y aura de différent, dans les formes cristallines de tous ces sels, que les facettes placées aux côtés de la forme primitive.

Le tartrate neutre d'ammoniaque est hémiedre. Si nous considérons la forme primitive (fig. 1), nous y trouvons les angles O identiques, les angles E identiques. Cela veut dire que, si une modification quelconque porte sur les angles O, elle doit se trouver simultanément et la même sur ces quatre angles. Il en est de même pour les angles E. Mais à une extrémité seulement, les angles  $O'$  et  $E'$  sont tronqués; les angles O et E de l'autre extrémité ne le sont jamais. Cette observation, appuyée sur l'étude d'une multitude de cristaux, nous montre clairement que deux des extrémités du cristal sont dissymétriques. Je n'ai jamais rencontré un seul cristal où les angles O

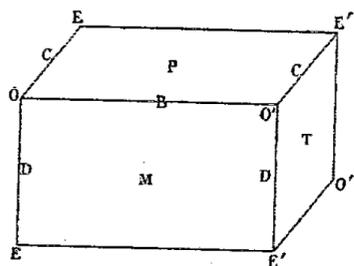


FIG. 1.

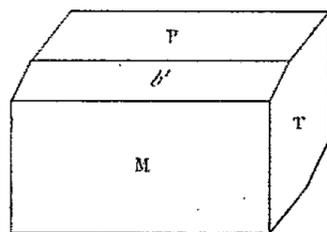


FIG. 2.

et E fussent modifiés en même temps que les angles  $O'$  et  $E'$ . J'ai obtenu toute une cristallisation de ce sel où aucun des huit angles n'était modifié. Cela ne prouve rien contre l'existence de l'hémiedrie; seulement elle n'était plus accusée directement par l'absence de certaines faces comparée à l'existence d'autres faces.

Il y a dans ce sel un clivage très net et très facile parallèlement à P.

*Bitartrate d'ammoniaque.* — Le bitartrate d'ammoniaque cristallise dans le système du prisme droit à base rectangle (1). Les cristaux n'ont

1. J'ai reconnu ultérieurement que le bitartrate d'ammoniaque appartenait au système du prisme rectangulaire oblique. Néanmoins je n'ai pas modifié les observations qui le concernent dans cet alinéa, parce que le prisme est très peu oblique et que les cristaux ont l'aspect général et l'allure des cristaux du prisme rectangulaire droit, même en ce qui regarde l'hémiedrie. (Note de Pasteur pour le volume qu'il projetait en 1878 sur la Dissymétrie moléculaire.)

jamais les formes simples des figures 3 et 4; les arêtes C et les angles solides sont tronqués. On a :

$$\begin{aligned} P : M &= 90^\circ \\ P : b^1 &= 125^\circ, 30' \end{aligned}$$

Il y a généralement, entre les faces P et  $b^1$ , les facettes  $b^2$  et  $b^3$ . La moyenne de l'angle P :  $b^1$ , dans les tartrates et paratartrates, est de  $130^\circ$  environ; et l'angle  $125^\circ, 30'$  est celui qui s'éloigne le plus de cette moyenne.

Il y a, dans le bitartrate d'ammoniaque, un clivage facile et net, parallèlement à P, comme dans le tartrate neutre, et un second également facile parallèlement à M.

Le bitartrate d'ammoniaque est hémiedre. En effet, la forme primitive étant un prisme rectangulaire droit (fig. 3), les huit angles solides sont identiques et doivent être modifiés simultanément de la même manière. Or les facettes qui portent sur ces angles sont toujours très inégalement développées. Quatre d'entre elles, dont deux à chaque extrémité latérale, sont très petites ou nulles, et les quatre autres

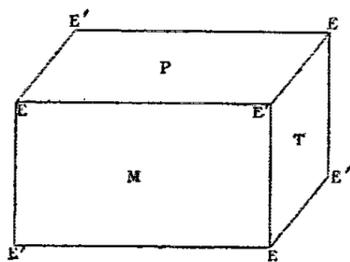


FIG. 3.

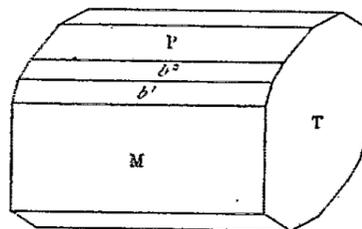


FIG. 4.

faces beaucoup plus larges sont situées de manière à ce que, si elles étaient prolongées jusqu'à leurs rencontres mutuelles, elles donneraient lieu à un tétraèdre irrégulier. De même qu'à chaque système cristallin correspond un ou plusieurs octaèdres, de même à chaque système correspond un ou plusieurs tétraèdres, et un tétraèdre est toujours une forme hémiedrique. Il n'est pas indifférent de noter la position des faces tétraédriques relativement aux autres éléments du cristal. Si les faces tétraédriques, et j'entends par là celles qui se développent le plus, sont tangentes aux quatre angles  $E'$  (fig. 3), le tétraèdre obtenu, en les supposant prolongées indéfiniment, sera, par rapport aux faces P et T, dans une position inverse du tétraèdre obtenu en prolongeant les faces qui seraient tangentes aux angles E. Or il arrive toujours, dans le bitartrate d'ammoniaque, que les faces

tétraédriques sont situées sur les angles  $E'$ . Je conviens dès à présent d'appeler *hémiedrie à droite* une pareille hémiedrie; je dirais *hémiedrie à gauche* si les facettes tétraédriques portaient sur les angles  $E$ . C'est là une pure convention, analogue à celle que M. Biot a adoptée pour indiquer le sens de la rotation du plan de polarisation; mais cette convention nous sera très commode. Un moyen simple de reconnaître l'espèce d'hémiedrie est celui-ci : Supposons que l'on ait entre les mains un cristal de bitartrate d'ammoniaque; plaçons-le de manière que les faces  $P$  soient verticales et parallèles au corps de l'observateur, les faces  $T$  horizontales. A droite de la face  $P$ , la plus rapprochée du corps, se trouve la facette tétraédrique; c'est alors que nous disons que le cristal est *hémiedre à droite*. Si la facette tétraédrique était à gauche de cette face  $P$ , nous dirions que le cristal est *hémiedre à gauche*. Je le répète, c'est une convention. Cette distinction de l'hémiedrie est très utile dans l'étude des tartrates et des paratartrates. Ce qui permet de l'établir, en d'autres termes, ce qui permet de comparer tous ces sels au point de vue de l'hémiedrie, c'est l'existence constante des faces  $P$ ,  $T$ ,  $M$ ,  $b'$ .

*Tartrate neutre de potasse.* — Le tartrate neutre de potasse cristallise dans le système du prisme oblique à base rectangle; mais le prisme est très peu oblique. On a :

$$\begin{aligned} P : M &= 89^{\circ},30' \\ P : b' &= 127^{\circ},17'. \end{aligned}$$

L'obliquité du prisme est donc déterminée par un angle de trente minutes seulement. Ce tartrate, ainsi que les deux précédents, dérive donc d'un prisme  $P$ ,  $M$ ,  $T$ , ou  $P : M$  et  $P : T = 90^{\circ}$ , et où le rapport de deux des axes est donné par une modification  $b'$  inclinée sur la base  $P$  de  $130^{\circ}$  environ.

Il y a deux clivages nets et faciles parallèlement aux faces  $P$  et  $M$ ; l'hémiedrie de ce sel est très prononcée. Il y a cependant quelque difficulté à la constater, parce que l'on obtient assez rarement des cristaux complets. J'ai préparé et fait cristalliser nombre de fois du tartrate neutre de potasse, et, dans tous les cas, j'ai vu

les cristaux appuyés sur les parois des vases ou implantés dans la croûte cristalline par la même extrémité. Cette particularité, tout à fait digne d'attention, je l'ai retrouvée dans les cristaux de bitartrate de soude, dans ceux de sucre candi et de sucre de lait. Le sucre candi est hémiedre, et toujours les facettes hémiedriques sont placées à

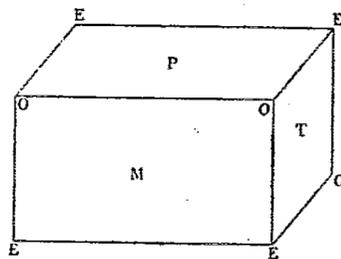


FIG. 5.

l'extrémité engagée dans la croûte cristalline ou dans la grappe des cristaux (1).

Le prisme rectangulaire du tartrate neutre de potasse (fig. 5) est oblique; de là résulte que les angles E sont identiques, que les angles O sont identiques. Les modifications qui existent sur les angles E, à droite du cristal, doivent exister à gauche sur les mêmes angles E; j'en dirai autant des angles O. Mais il n'en est point ainsi : les angles E de droite sont modifiés, les angles O le sont aussi, mais par des facettes tout autrement inclinées. Il en est de même des angles O, qui sont modifiés à gauche sans l'être à droite. En supposant prolongées les facettes qui portent à droite sur les angles E, à gauche sur les angles O, on obtient un tétraèdre irrégulier, et, en se rappelant la convention faite ci-dessus (voyez bitartrate d'ammoniaque), on voit que les cristaux sont hémiedres à droite (2).

*Bitartrate de potasse.* — Ce sel est isomorphe avec le bitartrate d'ammoniaque. On a :

$$\begin{aligned} P : M &= 90^\circ \\ P : b' &= 126^\circ \text{ à } 127^\circ. \end{aligned}$$

L'hémiedrie est encore ici plus prononcée que dans le bitartrate d'ammoniaque : les faces qui portent sur les angles E' sont très

1. Pour obtenir de beaux cristaux, limpides et très volumineux de tartrate neutre de potasse il faut ajouter du carbonate de potasse à la solution avant de la mettre à cristalliser, de manière à la rendre sensiblement alcaline. (*Note de Pasteur pour le volume qu'il projetait en 1878 sur la Dissymétrie moléculaire.*)

2. Dans le volume projeté en 1878, Pasteur a corrigé ainsi cet alinéa : « Le prisme rectangulaire du tartrate neutre de potasse est oblique; de là résulte que les angles E sont identiques, que les angles O le sont également. Les modifications qui existent sur les angles E, à droite du cristal, devraient exister à gauche sur les mêmes angles E; j'en dirais autant des angles O. En réalité il n'en est point ainsi : les angles E de gauche sont modifiés; les angles E de droite

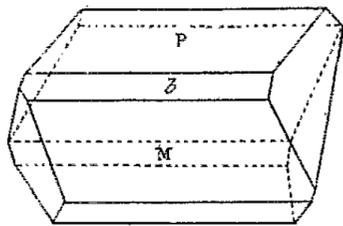


FIG. A.

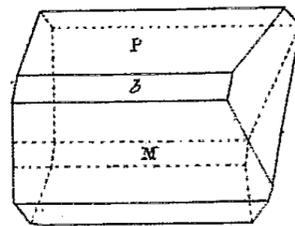


FIG. B.

ne le sont pas, ou s'ils le sont c'est par des facettes tout autrement inclinées. Il en est de même des angles O, qui sont modifiés à droite sans l'être à gauche. En supposant prolongées les facettes qui portent à droite sur les angles E, à gauche sur les angles O, on obtient un tétraèdre irrégulier, et, en se rappelant la convention faite ci-dessus (voyez bi-tartrate d'ammoniaque), on voit que les cristaux sont hémiedres à droite. Il arrive aussi très souvent que les angles O de droite sont tronqués et que ceux de gauche ne le sont pas. On peut donc rencontrer les formes figure [A] et figure [B] ». (*Note de l'Édition.*)

développées et conduisent à un tétraèdre irrégulier; les cristaux sont hémihédres à droite.

*Tartrate neutre de soude.* — Le tartrate neutre de soude cristallise dans le système du prisme droit à base rectangle. On ne rencontre pas la forme primitive. On a ici :

$$\begin{aligned} P : M &= 96^\circ \\ P : b^1 &= 127^\circ,35'. \end{aligned}$$

Je ne peux rien dire sur l'hémihédrie de ce sel : je n'ai pu me procurer des cristaux complets, isolés; ils sont toujours implantés par une extrémité, et un seul biseau est visible. Dans deux cristallisations cependant, j'avais opéré sur plusieurs kilogrammes de ce sel, et les cristaux étaient beaucoup plus volumineux qu'on ne les obtient ordinairement; car ce tartrate cristallise généralement en aiguilles déliées (fig. 6) [1].

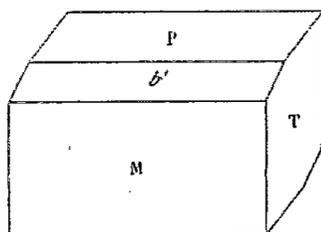


FIG. 6.

*Bitartrate de soude.* — Le bitartrate de soude s'obtient difficilement en beaux cristaux. Les faces P,  $b^1$ , M sont brillantes, mais fortement striées, ce qui en rend la mesure très difficile; et les sommets sont toujours, dans les cristaux un peu gros, terminés par des faces courbes et rayées. Mais j'ai obtenu de très petits cristaux d'une netteté parfaite. Si l'on fait cristalliser une goutte d'une dissolution chaude de ce sel sous le microscope, on ne tarde pas à voir de petits cristaux de la plus grande netteté, ayant la forme de prismes droits à base rhombe, portant un biseau à chaque extrémité (fig. 7).

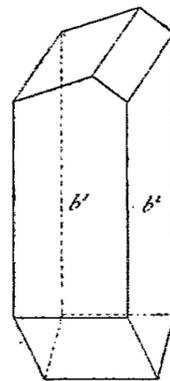


FIG. 7.

L'hémihédrie se voit facilement sur chacun de ces cristaux, comme l'indique la figure. Le prisme étant un prisme droit, à base rhombe, au lieu d'un biseau à chaque extrémité il devrait y avoir une pointe octaédrique. Le biseau, d'autre part, est en sens inverse aux deux extrémités, de manière que si l'on prolongeait ses faces indéfiniment, on donnerait lieu à un tétraèdre irrégulier comme dans les bitartrates de potasse et d'ammoniaque. Comme je n'ai pu mesurer les angles de ce sel, je ne puis savoir si l'on y observe encore la relation des formes des tartrates. Cela est extrêmement probable, et dès lors les angles des pans du prisme rhomboïdal doivent être voisins de  $100^\circ$  et  $80^\circ$ . En conservant,

1. Dans le texte original, les mots « fig. 6 » ont été omis. (Note de l'Édition.)

en effet, la notation adoptée jusqu'ici, les pans du prisme sont les faces  $b^1$  qui, par leur développement, ont fait disparaître les faces P et M. Or, d'après les angles des faces P, M,  $b^1$ , si l'on prolonge indéfiniment les faces  $b^1$  dans tous les tartrates, on a un prisme rhombique dont les angles sont voisins de  $100^\circ$  et  $80^\circ$ .

*Tartrate neutre de chaux.* — Ce sel forme de très petits cristaux durs et brillants, ayant la forme d'un prisme droit, à base rhombe, modifié par les faces de l'octaèdre sur les angles de la base. L'angle de l'octaèdre est de  $122^\circ,15'$ , et les angles des pans sont  $82^\circ,30'$  et  $97^\circ,30'$ . Ces angles suffisent pour déterminer le cristal.

Il est facile de voir que la relation générale des formes des tartrates se retrouve encore dans celui-ci; car, si l'on imagine le prisme rectangulaire correspondant au prisme rhombique, et si l'on désigne par P et M les faces du prisme rectangle, et par  $b^1$  les faces du prisme rhombique, on a :

$$\begin{aligned} P : M &= 90^\circ \\ P : b^1 &= 130^\circ,15'. \end{aligned}$$

Dans ce tartrate, que j'ai étudié avec soin, rien n'annonce l'hémiédrie. Peut-être, si l'on pouvait obtenir de gros cristaux, certaines facettes viendraient indiquer ce caractère si constant dans tous les tartrates. Il faut bien remarquer que l'absence de l'hémiédrie n'est pas prouvée quand la forme ne l'indique pas géométriquement. Une substance hémièdre peut donner des cristaux homoédriques, c'est-à-dire des cristaux où existent toutes les faces que demande la loi de symétrie. Ainsi la pyrite jaune, qui, en général, cristallise en dodécaèdres pentagonaux, se trouve quelquefois en cubes portant toutes les faces du dodécaèdre rhomboïdal. Le cristal, au point de vue purement géométrique, est homoèdre; mais au point de vue de la structure moléculaire interne, il est toujours, à coup sûr, hémièdre, et ses propriétés physiques le manifestent.

*Tartrate double de potasse et d'ammoniaque.* — Ce sel peut être obtenu par une évaporation lente, en gros cristaux complètement isomorphes avec le tartrate neutre de potasse, décrit précédemment.

*Tartrate double de soude et d'ammoniaque; tartrate double de soude et de potasse.* — Ces deux sels, que l'on peut obtenir en cristaux d'une grande beauté, ont la même forme cristalline, avec les mêmes faces et les mêmes angles. Ils cristallisent en prisme droit, à base rectangle (fig. 8 et 9). La forme primitive simple (fig. 8) ne se rencontre pas. Elle est toujours modifiée, comme l'indique la figure 9, par les facettes  $b^1$ ,  $b^{\frac{1}{2}}$ , et les cristaux complets ont, en

outre, les angles solides tronqués. La relation des formes cristallines des tartrates se poursuit dans ces sels doubles; on a :

$$\begin{aligned} P : M &= 90^\circ \\ P : b' &= 129^\circ, 49'. \end{aligned}$$

Ces deux sels sont hémiedres. Puisque les cristaux peuvent dériver d'un prisme droit, à base rectangle (fig. 8), les arêtes B sont identiques, les arêtes C sont identiques. Par suite, dans la figure 9, les arêtes  $f$  et les arêtes  $f'$  sont respectivement identiques; mais ne parlons que des arêtes  $f$ : ce sont les seules qui nous intéressent. C'est de la dissymétrie de leurs modifications que nous sommes partis précédemment pour distinguer les deux espèces d'hémiedrie. Les arêtes  $f$ , au nombre de huit, devraient être simultanément modifiées de la même manière. Or, toujours quatre seulement portent de petites facettes, et les deux arêtes modifiées à une extrémité latérale sont en sens inverse des deux arêtes modifiées à l'autre extrémité, de manière à fournir un tétraèdre irrégulier par leur prolongement. Chacun voit de suite qu'il y a deux tétraèdres possibles, puisqu'il y a huit facettes  $f$ , et que, par rapport aux

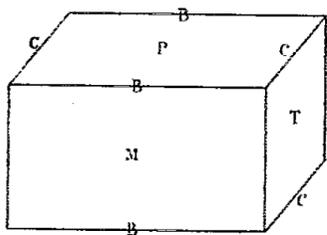


FIG. 8.

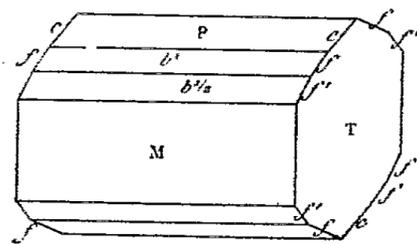


FIG. 9.

faces P et T, ces deux tétraèdres seraient en sens inverse. Ces deux tétraèdres sont *symétriques*; ils ne peuvent se superposer: ils sont l'un par rapport à l'autre ce qu'une image, dans une glace, est par rapport à la chose réelle.

Dans les deux tartrates que nous examinons, si l'on place le cristal devant soi, les faces T horizontales, les faces P verticales, la facette  $f$ , placée à droite de la face P, la plus rapprochée du corps de l'observateur, est une des facettes tétraédriques. En d'autres termes, d'après la convention faite, l'hémiedrie est à droite dans les tartrates de soude et d'ammoniaque, de soude et de potasse.

L'hémiedrie n'est pas indiquée par les facettes qui naissent sur les arêtes  $f'$ . J'ai en effet rencontré, dans certains cas, l'arête  $f$  modifiée à gauche, lorsque l'arête  $f'$  était modifiée à droite, dans le

tartrate de soude et de potasse. Ce dernier sel ne porte qu'assez rarement les facettes hémiedriques bien développées; mais quand elles existent, elles ont toujours la position que j'ai indiquée. L'étude de l'hémiedrie se fait mieux sur les cristaux de tartrate de soude et d'ammoniaque.

*Émétique de potasse; émétique d'ammoniaque.* — Ces deux sels, que l'on peut obtenir en beaux cristaux, surtout celui d'ammoniaque, sont isomorphes. Ils cristallisent en prismes droits, à bases rhombes, modifiés sur les arêtes des bases par les faces de l'octaèdre. Les faces de l'octaèdre, qui est d'ordinaire surmonté d'un autre octaèdre plus surbaissé, sont assez développées pour faire disparaître, en presque totalité, les faces des pans. Le prisme droit, à base rhombe, qui forme les faces des pans, est souvent combiné avec les faces du prisme rectangulaire droit correspondant.

Si nous désignons par P et M les faces du prisme rectangulaire, et par  $b^1$  les faces du prisme rhomboïdal, nous aurons :

$$\begin{aligned} P : M &= 90^\circ \\ P : b^1 &= 131^\circ, 45'. \end{aligned}$$

La relation des formes cristallines des tartrates s'observe donc encore dans les émétiques.

Quant à l'hémiedrie, il est facile de voir, bien que les cristaux soient souvent homoèdres, qu'il y a une tendance du cristal à donner lieu à une forme tétraédrique : quatre des faces de l'octaèdre se développent plus que les autres, et finissent quelquefois par les faire disparaître. J'ai déjà fait remarquer précédemment que le développement de toutes les faces exigées par la loi de symétrie ne prouvait pas la non-existence de l'hémiedrie.

*Nouvel émétique d'ammoniaque.* — Lorsqu'une solution d'émétique d'ammoniaque a donné, par refroidissement, des cristaux d'émétique isomorphe avec celui de potasse, et qu'on enlève ce premier émétique, les eaux mères donnent de suite, et en très peu de temps, une grande quantité de beaux cristaux prismatiques, allongés, beaucoup plus efflorescents que les cristaux d'émétique ordinaire, et qui n'ont plus du tout la forme de ces derniers cristaux. Les auteurs ne parlent pas de ce sel, et j'ai tout lieu de croire qu'il n'a pas encore été observé.

On trouve, dans ce tartrate nouveau, et la relation des formes {des tartrates et le caractère d'hémiedrie à droite. Ce sel cristallise en prismes droits, à base rhombe, portant les faces du prisme rectangulaire correspondant très peu développées. Désignons toujours par

P et M les faces du prisme rectangle, par  $b^1$  les faces du prisme rhomboïdal; on a :

$$\begin{aligned} P : M &= 90^\circ \\ P : b^1 &= 127^\circ, 0'. \end{aligned}$$

Sur tous les cristaux, l'hémiédrie est nettement indiquée. Deux arêtes seulement, à chaque base; sont modifiées de manière à donner un biseau qui, à l'autre base, est placé en sens inverse; ce qui conduit encore à une forme tétraédrique. L'hémiédrie est à droite. L'angle du biseau est de  $85^\circ, 30'$ .

*Acide tartrique.* — L'acide tartrique est hémiédre. On ne peut pas spécifier le sens de l'hémiédrie. La forme des cristaux est tout à fait dissymétrique; et la propriété, si facile à vérifier, qu'a cet acide de donner deux pôles d'électricités contraires, lorsqu'on élève sa température, vient confirmer l'existence de ce caractère : car on sait, depuis longtemps, que ces deux propriétés sont corrélatives en général.

Je renvoie, pour l'étude détaillée de la forme de cet acide, au travail de M. de La Provostaye. La relation des formes cristallines des tartrates paraît se poursuivre encore dans l'acide tartrique; mais, dans tous les cas, elle est bien altérée. Cet acide dérive d'un prisme oblique à base rhombe, dont l'obliquité est assez prononcée. La facette  $b^1$  fait avec la face P un angle de  $135^\circ$ , et la base est inclinée sur M de  $103^\circ$ .

*Paratartrate neutre de potasse.* — Ce sel peut s'obtenir en beaux cristaux, qui dérivent d'un prisme rectangulaire droit (fig. 10) [1]. La

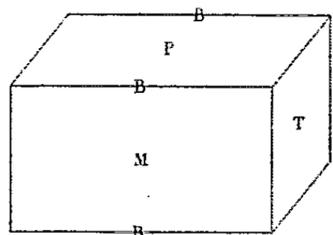


FIG. 10.

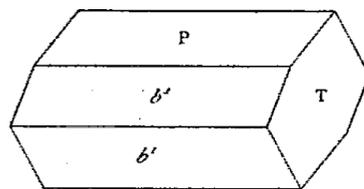


FIG. 11.

forme simple ne se rencontre pas. Elle est toujours modifiée sur les arêtes B, par une facette  $b^1$ , qui fait avec la base P un angle très voisin de  $130^\circ$ . On a :

$$\begin{aligned} P : M &= 90^\circ \\ P : b^1 &= 128^\circ, 20'. \end{aligned}$$

1. Dans le volume qu'il projetait en 1878 sur la Dissymétrie moléculaire, Pasteur a fait la correction suivante : « J'ai rapporté autrefois les cristaux de racémate neutre de potasse au prisme rectangulaire droit. C'est une erreur. Les cristaux que j'avais étudiés avaient bien cette forme, mais ils étaient formés de tartrate de soude et de potasse. Le racémate de potasse appartient au prisme oblique à base rhombe. C'est un sel facile à obtenir en cristaux limpides, volumineux et fort nets ». (*Note de l'Édition.*)

Les faces  $b^1$ , en se développant, font souvent disparaître les faces M, et les cristaux, ne portant pas d'autres modifications, se présentent en tables hexagonales (fig. 11), formées par les faces P, T et  $b^1$ .

Nous retrouvons dans ce paratartrate, ainsi que je l'ai annoncé, la relation des angles des faces principales des tartrates. Ce sel dérive, en effet, d'un prisme rectangulaire droit, dont le rapport de deux dimensions, C et D, est donné par une facette  $b^1$ , inclinée sur la base P, d'un angle voisin de  $130^\circ$ .

Quant à l'hémiédrie, je n'ai rien trouvé qui l'annonçât.

*Paratartrate neutre d'ammoniaque.* — Le paratartrate neutre d'ammoniaque s'obtient difficilement bien cristallisé. Les cristaux dérivent d'un prisme rectangulaire droit, comme le paratartrate neutre de potasse, et l'on a :

$$\begin{aligned} P : M &= 90^\circ \\ P : b^1 &= 130^\circ, 15'. \end{aligned}$$

Les cristaux n'étaient pas assez beaux pour que je puisse rien affirmer sur l'hémiédrie.

*Paratartrate double de potasse et d'ammoniaque.* — Ce sel cristallise mal. On l'obtient, par évaporation lente, en cristaux aiguillés, striés longitudinalement. Ils dérivent d'un prisme droit, à base rectangle, de même que les sels précédents. Les arêtes B (fig. 10) sont modifiées par des facettes  $b^1$ , très développées, qui font disparaître les faces P et M. On a :

$$\begin{aligned} P : M &= 90^\circ \\ P : b^1 &= 130^\circ, 45'. \end{aligned}$$

Le prisme n'est pas modifié à ses extrémités.

*Paratartrate d'antimoine et de potasse.* — Ce sel cristallise en prisme droit, à base rhombe, surmonté des faces de l'octaèdre. L'angle du prisme est de  $85^\circ, 20'$ . Si on le suppose modifié par les faces du prisme rectangulaire correspondant, il est facile de voir, en appelant P, M les faces de ce dernier prisme,  $b^1$  les faces du prisme rhombique, que l'on a :

$$\begin{aligned} P : M &= 90^\circ \\ P : b^1 &= 132^\circ, 40'. \end{aligned}$$

Je ne puis pas dire si ce sel est ou non hémièdre, car je n'ai pu l'obtenir qu'en petits cristaux mal déterminés.

Je remets à un travail ultérieur la description des autres paratartrates.

## DEUXIÈME PARTIE

*Corrélation de l'hémiédrie avec le sens de la polarisation rotatoire.*

Nous venons d'établir deux faits distincts dont l'importance va ressortir plus clairement tout à l'heure. D'une part, tous les tartrates, quelle que soit leur composition chimique, dérivent d'un prisme droit ou très peu oblique à base rectangle, dont deux dimensions sont sensiblement les mêmes, la troisième variant seule avec la composition élémentaire. Il en résulte que les angles des faces principales de tous les cristaux sont sensiblement les mêmes, et qu'il n'y a de variation dans les formes qu'aux extrémités. En outre, cette relation paraît persister la même dans les paratartrates.

J'ai montré, en second lieu, que tous les tartrates étaient hémiédres, et j'ai signalé ce fait, que, dans la plupart, l'hémiédrie avait le même caractère. Elle était accusée par quatre facettes dont le prolongement donnait lieu à un tétraèdre, et l'orientation de ce tétraèdre, par rapport aux faces principales du cristal, était la même. En décrivant les formes des tartrates doubles isomorphes de soude et de potasse, de soude et d'ammoniaque, nous avons remarqué que l'orientation du tétraèdre, type de l'hémiédrie, aurait pu très bien se trouver en sens inverse, toujours relativement aux faces principales du cristal. Cela ne se présente jamais, ni dans ces tartrates doubles, ni dans les autres, et voilà pourquoi nous disons que l'hémiédrie a, dans la plupart des tartrates, le même caractère. Or, dans les circonstances ordinaires, les tartrates, ainsi que l'acide tartrique, dévient dans le même sens, à droite, le plan de polarisation.

En 1844, M. Biot communiqua à l'Académie des sciences la Note suivante de M. Mitscherlich<sup>(1)</sup> :

« Le paratartrate et le tartrate (doubles) de soude et d'ammoniaque ont la même composition chimique, la même forme cristalline, avec les mêmes angles, le même poids spécifique, la même double réfraction, et, par conséquent, les mêmes angles entre les axes optiques. Dissous dans l'eau, leur réfraction est la même. Mais le tartrate dissous tourne<sup>(2)</sup> le plan de la lumière polarisée, et le paratartrate est indifférent, comme M. Biot l'a trouvé pour toute la série de ces deux genres de sels; mais ici la nature

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, XIX, 1844, p. 720.

2. Dans le texte de Mitscherlich « tourne ». Dans le texte donné par Pasteur « dévie ».  
(Note de l'Édition.)

et le nombre des atomes, leur arrangement et leurs distances sont les mêmes dans les deux corps comparés. »

Lorsque j'eus découvert l'hémiédrie de tous les tartrates, je me hâtai d'étudier avec soin le paratartrate double de soude et d'ammoniaque; mais je vis que les facettes tétraédriques, correspondant à celles des tartrates isomorphes, étaient placées, relativement aux faces principales du cristal, tantôt à droite, tantôt à gauche, sur les différents cristaux que j'avais obtenus. Prolongées respectivement, ces facettes donnaient les deux tétraèdres symétriques dont nous parlions précédemment. Je séparai avec soin les cristaux hémiédres à droite, les cristaux hémiédres à gauche; j'observai séparément leurs dissolutions dans l'appareil de polarisation de M. Biot, et je vis, avec surprise et bonheur, que les cristaux hémiédres à droite déviaient à droite, que les cristaux hémiédres à gauche déviaient à gauche le plan de polarisation. Ainsi, je pars de l'acide paratartrique des chimistes, j'obtiens, à la manière ordinaire, le paratartrate double de soude et d'ammoniaque, et la dissolution laisse déposer, après quelques jours, des cristaux qui ont tous exactement les mêmes angles, le même aspect; et pourtant, à coup sûr, l'arrangement moléculaire dans les uns et dans les autres est tout à fait différent. Le pouvoir rotatoire l'atteste, ainsi que le mode de dissymétrie des cristaux. Les deux espèces de cristaux sont isomorphes et isomorphes avec le tartrate correspondant; mais l'isomorphisme se présente là avec une particularité jusqu'ici sans exemple: c'est l'isomorphisme de deux cristaux dissymétriques qui se regardent dans un miroir. Cette comparaison rend le fait d'une manière très juste. En effet, si dans l'une et l'autre espèce de cristaux je suppose prolongées les facettes hémiédriques jusqu'à leurs rencontres mutuelles, j'obtiens les deux tétraèdres symétriques dont j'ai déjà parlé, inverses l'un de l'autre, et que l'on ne peut superposer, malgré l'identité parfaite de toutes leurs parties respectives. De là j'ai dû conclure que j'avais séparé, par la cristallisation du paratartrate double de soude et d'ammoniaque, deux groupes atomiques symétriquement isomorphes, intimement unis dans l'acide paratartrique. On va voir, en effet, que ces deux espèces de cristaux, qui n'ont d'autre différence que celle de la symétrie de position de l'image dans un miroir à la réalité qui la produit, représentent deux sels distincts d'où l'on peut extraire deux acides différents. Si l'on traite par une solution de soude caustique la dissolution des cristaux hémiédres à gauche, déviant à gauche, de manière à chasser l'ammoniaque, on obtient un sel de soude qui dévie à gauche le plan de

polarisation; et si l'on traite de même la dissolution des cristaux hémiedres à droite, déviant à droite, on obtient un sel de soude qui dévie à droite. La même expérience réussit en chassant directement l'ammoniaque par la chaleur. Ainsi le changement de la base n'a pas changé le caractère optique. Ceci pouvait s'attendre de l'analogie avec les tartrates alcalins dans lesquels la substitution d'une base alcaline à une autre ne change pas le sens de la polarisation.

Quant à l'extraction complète des deux acides, voici comment j'ai opéré: J'ai précipité, par un sel de baryte, séparément les dissolutions des deux espèces de cristaux, et j'ai isolé l'acide des sels de baryte par l'acide sulfurique. On obtient un acide déviant à gauche, avec le sel de baryte provenant des cristaux hémiedres à gauche, un acide déviant à droite, avec le sel de baryte provenant des cristaux hémiedres à droite.

Il était très important de rechercher si, dans la cristallisation du sel double de soude et d'ammoniaque, pour chaque molécule déviant à droite, il se déposait une molécule déviant à gauche. L'expérience suivante ne laisse aucun doute à cet égard: Lorsque la dissolution limpide du sel de soude et d'ammoniaque obtenu avec l'acide paratartrique pur des chimistes a donné une cristallisation plus ou moins abondante, si l'on réunit tous les cristaux formés sans faire aucun choix, leur dissolution n'a pas la moindre action sur le plan de polarisation des rayons lumineux. D'autre part, l'eau mère qui a fourni ces cristaux est elle-même complètement inactive.

En définitive, les expériences qui précèdent semblent établir, d'une manière incontestable, que l'acide paratartrique des chimistes, inactif sur le plan de la lumière polarisée, est composé de deux acides dont les rotations se neutralisent mutuellement, parce que l'un dévie à droite, l'autre à gauche, et tous deux de la même quantité absolue. Et, je le répète encore, les sels doubles de soude et d'ammoniaque correspondant à ces deux acides sont complètement isomorphes, identiques même; seulement ils sont tous deux dissymétriques, et la dissymétrie de l'un est celle de l'autre sel, vue dans une glace. Ce sel double est le seul que j'ai examiné avec soin au point de vue cristallographique; mais tout annonce que les autres sels de ces deux acides m'offriront la même relation de formes et de propriétés.

Si l'on se reporte maintenant à l'observation de M. Mitscherlich, on sera frappé de l'identité complète du tartrate de soude et d'ammoniaque avec le sel de soude et d'ammoniaque hémiedre à droite, obtenu au moyen de l'acide paratartrique: même composition, même forme cristalline avec les mêmes angles, même poids spécifique, même double réfraction, même caractère hémiedrique, même pouvoir

rotatoire<sup>(1)</sup>. Il est donc extrêmement probable que l'acide déviant à droite, extrait par le procédé que j'ai indiqué de l'acide paratartrique des chimistes, n'est rien autre chose que de l'acide tartrique. Je ne me prononcerai cependant sur ce point que quand j'aurai extrait une suffisante quantité de cet acide, et que j'aurai comparé une à une toutes ses propriétés avec celles de l'acide tartrique ordinaire. On ne peut être trop prudent dans les conclusions à déduire de l'expérience, lorsque l'on a affaire à des substances quelquefois si semblables en apparence, et qui peuvent être au fond si différentes.

Je vais m'attacher sans relâche à résoudre cette question, et je soumettrai à l'Académie les résultats auxquels je serai parvenu dans le travail qui doit faire suite à celui que j'ai l'honneur de présenter aujourd'hui.

1. Le pouvoir rotatoire a été trouvé en réalité un peu différent, dans le rapport de 25 à 29. Mais il faut remarquer qu'il m'est très difficile de séparer complètement les deux espèces de cristaux hémiedres, et que, par suite, le pouvoir rotatoire donné par l'expérience pour l'une des espèces de cristaux est nécessairement trop faible.

## LA DISSYMMÉTRIE MOLÉCULAIRE (1)

(CONFÉRENCE FAITE A LA SOCIÉTÉ CHIMIQUE DE PARIS  
LE 22 DÉCEMBRE 1883)

MESSIEURS,

Dans ces dernières années, nos connaissances sur les composés organiques dissymétriques se sont enrichies de données nouvelles par les intéressants et remarquables travaux de deux savants chimistes français formés par deux de nos grandes écoles de chimie : M. Jungfleisch, élève de M. Berthelot, et M. Lebel, élève de M. Wurtz. Toutefois, lorsque j'entends parler de ces études, que je lis les ouvrages qui en rendent compte, il ne me paraît pas que la signification de leurs résultats soit toujours appréciée avec exactitude. Je voudrais essayer d'apporter dans le sujet un peu plus de rigueur et je suis, en vérité, fort reconnaissant au président de la Société chimique, M. Lauth, de m'avoir permis de venir vous en entretenir familièrement.

Les fondements de ce chapitre de chimie moléculaire, désigné sous le nom de *dissymétrie*, sont déjà d'une date un peu éloignée. Peut-être ne sont-ils pas présents à la mémoire de cette jeune réunion de chimistes, que je me plaisais à considérer l'autre jour à la brillante leçon de M. Wurtz. Permettez-moi donc de rafraîchir un peu les idées sur ces principes en vous disant quelques mots de l'acide tartrique gauche. Aussi bien ce sont mes premières joies de chercheur. Celles qu'inspire la science n'ont pas moins de poésie que les autres. Souffrez que je m'y arrête un instant.

J'étais élève à l'École Normale supérieure, de 1843 à 1846. Le hasard me fit lire à la bibliothèque de l'École une note du savant chimiste cristallographe Mitscherlich, relative à deux combinaisons salines, le

1. In : Conférences faites à la Société chimique de Paris. 1883-1884-1885-1886. Paris, 1886, p. 24-37; et *Revue scientifique*, 3<sup>e</sup> sér., VII, 1884, p. 2-6.

tartrate et le paratartrate de soude et d'ammoniaque. Dans ces deux substances, concluait Mitscherlich, à la suite de l'étude approfondie de toutes leurs propriétés, « la nature et le nombre des atomes, leur arrangement et leurs distances sont les mêmes. Cependant le tartrate dévie le plan de la lumière polarisée et le paratartrate est indifférent ». Je méditai longtemps cette note ; elle troublait toutes mes idées d'étudiant ; je ne pouvais comprendre que deux substances fussent aussi semblables que le disait Mitscherlich, sans être tout à fait identiques. Savoir s'étonner à propos est le premier mouvement de l'esprit vers la découverte.

Ce n'est pas à vous que je rappellerai tout ce que nous devons à nos maîtres, combien est grande leur influence sur la direction donnée à nos travaux, à vous qui avez le bonheur d'avoir des professeurs embrasés du feu sacré, comme nous en donnait l'autre jour un exemple si particulier mon très éminent confrère M. Wurtz. A l'époque dont je vous parle, M. Dumas et M. Balard enflammaient notre ardeur pour la chimie. Un autre de nos maîtres à l'École Normale, aussi modeste que savant, M. Delafosse, nous passionnait pour l'étude des cristaux.

A peine sorti de l'École Normale, je formai le projet de préparer une longue série de cristaux, afin d'en déterminer les formes. Je pensai à l'acide tartrique et à ses combinaisons salines, ainsi qu'à celles de l'acide paratartrique par ces deux motifs que les cristaux de tous ces corps sont aussi beaux que faciles à obtenir et, d'autre part, que je pouvais à chaque instant contrôler l'exactitude de mes déterminations en me référant à un mémoire d'un habile et très précis physicien, M. de La Provostaye, qui avait publié une étude cristallographique étendue sur l'acide tartrique et l'acide paratartrique et les combinaisons salines de ces acides.

A peine engagé dans ce travail, je vis, à n'en pas douter, et après avoir levé toutes les difficultés de détail, que l'acide tartrique et toutes ses combinaisons avaient des formes dissymétriques. Cette observation avait échappé à M. de La Provostaye. Toutes ces formes tartriques avaient individuellement une image dans une glace qui ne leur était pas superposable. Je vis, au contraire, que rien de semblable n'existait pour les formes de l'acide paratartrique et de ses combinaisons. Tout à coup, je fus pris d'une grande émotion. J'avais toujours gardé la surprise profonde que m'avait causée la note de Mitscherlich sur le tartrate et le paratartrate de soude et d'ammoniaque. Malgré le soin extrême de son étude, me disais-je, au sujet de ces deux combinaisons, Mitscherlich, pas plus que M. de La Provostaye, n'aura vu que le tartrate était dissymétrique, car il doit l'être ; il n'aura pas vu davan-

tage que le paratartrate ne l'est pas, ce qui est très probable également. Aussitôt, avec une ardeur fiévreuse, je préparai le tartrate double de soude et d'ammoniaque et le paratartrate correspondant et je me mis en devoir de comparer leurs formes cristallines, avec cette idée préconçue que j'allais trouver la dissymétrie dans la forme du tartrate et l'absence de dissymétrie dans celle du paratartrate. Alors, pensais-je, tout sera expliqué; la note de Mitscherlich n'aura plus de mystère, la dissymétrie de la forme du tartrate correspondra à sa dissymétrie optique; l'absence de dissymétrie de la forme dans le paratartrate correspondra à l'inactivité de ce sel sur le plan de la lumière polarisée, à son indifférence optique. En effet, je vis que le tartrate de soude et d'ammoniaque portait les petites facettes accusatrices de la dissymétrie; mais quand je passai à l'examen de la forme des cristaux du paratartrate, j'eus un instant un serrement de cœur; tous ces cristaux portaient les facettes de la dissymétrie. L'idée heureuse me vint d'orienter mes cristaux par rapport à un plan perpendiculaire à l'observateur, et alors je vis que dans cette masse confuse des cristaux du paratartrate il y en avait de deux sortes sous le rapport de la disposition des facettes de dissymétrie. Chez les uns, la facette de dissymétrie la plus rapprochée de mon corps s'inclinait à ma droite, relativement au plan d'orientation dont je viens de parler, tandis que, chez les autres, la facette dissymétrique s'inclinait à ma gauche. En d'autres termes, le paratartrate se présentait comme formé de deux sortes de cristaux, les uns dissymétriques à droite, les autres dissymétriques à gauche.

Une nouvelle idée, toute naturelle, se présenta bientôt à mon esprit. Ces cristaux, dissymétriques à droite, que je pouvais séparer manuellement des autres, offraient, eux, une identité absolue de formes avec ceux du tartrate droit. Poursuivant, dans toute la logique de ses déductions, mon idée préconçue, je séparai du paratartrate cristallisé ces cristaux droits; je fis le sel de plomb et j'isolai l'acide. Cet acide se montra absolument identique à l'acide tartrique du raisin et jouissant, comme lui, de l'action sur la lumière polarisée. Je fus plus heureux encore le jour où, prenant à leur tour les cristaux à forme gauche du paratartrate et isolant leur acide, j'obtins un acide tartrique absolument pareil à l'acide tartrique du raisin, mais d'une dissymétrie de forme inverse de l'autre, et d'une action optique inverse. Sa forme était identique à celle de l'image de l'acide tartrique droit placé devant une glace et, toutes choses égales, il déviait à gauche de la même quantité que l'acide droit en valeur absolue.

Enfin, mettant en présence des solutions de ces deux acides à poids

égaux, le mélange se résolut en une masse cristalline d'acide paratartrique, identique à l'acide paratartrique connu.

Les principes de la dissymétrie moléculaire étaient fondés. Il existe des substances dont le groupement atomique est dissymétrique et ce groupement se traduit au dehors par une forme dissymétrique et par une action de déviation sur le plan de la lumière polarisée; bien plus, ces groupements atomiques ont leurs inverses possibles dont les formes sont identiques à celles de leurs images et qui ont une action inverse sur la lumière polarisée.

A vrai dire, Messieurs, on comprend que les choses soient telles. Vous n'avez peut-être jamais fait une remarque qui vous paraîtra bien simple quand je vous l'aurai signalée une première fois. Considérez un objet quelconque, naturel ou artificiel, du règne minéral ou du règne organique, vivant ou mort, fait par la vie ou disposé par l'homme, un minéral, une plante, cette table, une chaise, le ciel, la terre, enfin un objet quelconque. A n'envisager que la forme de tous ces objets, que leur aspect extérieur et la répétition de leurs parties semblables, s'ils en possèdent, vous trouverez que tous peuvent se partager en deux grandes catégories : la première catégorie comprendra tous les objets qui ont un plan de symétrie, la seconde catégorie comprendra tous ceux qui n'ont pas de plan de symétrie. Avoir un plan de symétrie — il peut y en avoir plusieurs pour un même objet — c'est pouvoir être partagé par un plan, de telle sorte que vous retrouviez à gauche ce qui est à droite. Cette table a un plan de symétrie, car, si j'imagine un plan vertical passant par ses deux bords opposés, je trouve à droite exactement ce qui est à gauche; la chaise sur laquelle vous êtes assis a un plan de symétrie — elle n'en a qu'un, la table en a deux; elle eût été ronde qu'elle en aurait eu une infinité —; faites passer un plan vertical par le milieu du dos de votre chaise et par le milieu de son siège et vous laisserez à droite ce que vous retrouverez fidèlement à gauche. Au contraire, il y a des corps qui n'ont pas de plan de symétrie. Coupez une main par un plan quelconque, jamais vous ne laisserez à droite ce qui sera à gauche. Il en est de même d'un œil, d'une oreille, d'un escalier tournant, d'une hélice, d'une coquille spiralée. Tous ces objets et bien d'autres n'ont pas de plan de symétrie; ils sont tels que, si vous les placez devant une glace, leur image ne leur est pas superposable. La main droite placée devant une glace vous donne pour image la main gauche. Un escalier tournant placé devant une glace vous donne l'escalier tournant en sens inverse. Or les groupements atomiques qui composent les molécules de toutes les

espèces chimiques sont des objets et des assemblages comme tous les objets et tous les assemblages que nous trouvons autour de nous. *A priori* donc, on peut croire qu'eux également doivent se partager en nos deux catégories : les groupements d'atomes qui ont un plan de symétrie et une image qui leur est superposable, et les groupements d'atomes qui n'ont pas de plan de symétrie et une image qui ne leur est pas superposable. En d'autres termes, il doit y avoir des groupes d'atomes symétriques et d'autres dissymétriques, c'est-à-dire des groupes droits et gauches, des groupes inverses les uns des autres. Ceux-ci, nous les connaissons ; c'est, par exemple, le groupe tartrique droit et le groupe tartrique gauche. Il existe une foule de groupes d'atomes dissymétriques qui attendent encore la production artificielle ou naturelle de leurs inverses. Nous avons le sucre droit ; nous ignorons l'existence du sucre gauche. Nous avons l'albumine gauche ; nous ignorons l'albumine droite. Nous avons la quinine gauche ; nous ignorons la quinine droite...

Je veux que vous fassiez tout de suite une remarque : elle consiste en ce que, dans les corps qui ont un plan de symétrie, très souvent les parties que le plan de symétrie laisse à sa droite et à sa gauche n'ont pas, elles, de plan de symétrie. La chaise sur laquelle vous êtes assis a un plan de symétrie, comme je le disais tout à l'heure ; c'est le plan vertical qui passe par le milieu du dos et le milieu du siège. Mais les deux moitiés de la chaise séparées par ce plan n'ont pas de plan de symétrie. Songez-y un instant : vous reconnaîtrez que la moitié droite n'est pas superposable à la moitié gauche. En d'autres termes, si vous me permettez cette assimilation, la chaise peut être considérée comme un paratartrique. Le corps humain est dans le même cas. C'est également un paratartrique ; il a un plan de symétrie qui passe par le milieu du front et le nombril. Or toutes les parties qui sont à droite ne peuvent être superposées à celles qui sont à gauche. Les unes et les autres n'ont pas de plan de symétrie. En d'autres termes, la symétrie est compatible avec une dissymétrie double et inverse, tandis que la symétrie est absolument incompatible avec une dissymétrie simple. Disons tout de suite, quoique ce sera plus clair tout à l'heure, que, si la dissymétrie simple est le produit d'actions et de forces dissymétriques, la dissymétrie double est le produit de forces symétriques.

Messieurs, une particularité singulière concerne la dissymétrie moléculaire. On trouve la dissymétrie établie dans un très grand nombre de principes immédiats des animaux et des végétaux, notamment dans les principes immédiats essentiels à la vie. Tous les produits, pour ainsi dire, de l'œuf et de la graine sont dissymétriques.

Il existe, sans doute, chez les animaux et les végétaux des principes immédiats, tels que l'urée et l'acide oxalique, qui ne sont pas dissymétriques ; mais ce sont des produits de seconde main, en quelque sorte, comparables à nos produits des laboratoires chez lesquels la dissymétrie est absente.

En d'autres termes, lorsque le rayon de lumière solaire vient à frapper une feuille verte et que le carbone de l'acide carbonique, l'hydrogène de l'eau, l'azote de l'ammoniaque et l'oxygène de cet acide carbonique et de cette eau forment des composés chimiques et que la plante grandit, ce sont des corps dissymétriques qui prennent naissance. Vous, au contraire, tout habiles chimistes que vous êtes, quand vous unissez par mille manières diverses ces mêmes éléments, vous faites toujours des produits dépourvus de dissymétrie moléculaire. Il n'existe pas, à ma connaissance, un seul produit de synthèse chimique, né sous l'influence des causes qu'on peut considérer comme propres à la vie végétale, qui ne soit dissymétrique, qui n'ait, en d'autres termes, la forme générale d'une hélice, d'un escalier tournant, d'un tétraèdre irrégulier, d'une main, d'un œil...

Par opposition, il n'existe pas un seul produit de synthèse, préparé dans les laboratoires ou dans la nature minérale morte, qui ne soit de la forme d'un octaèdre, d'un escalier droit...

On a annoncé souvent la production directe de substances dissymétriques. M. Dessaignes a cru avoir fait l'acide aspartique de l'asparagine naturelle à l'aide des acides malique et fumarique inactifs. M. Loir, le premier, a vu que la nitromannite était active. M. Bichat, reprenant alors, à ma sollicitation, l'étude du pouvoir rotatoire de la mannite, a reconnu que cette substance n'était pas inactive, comme on le croyait auparavant. MM. Perkin et Duppa ont annoncé avoir fait l'acide tartrique du raisin en partant de l'acide succinique inactif tiré du succin. J'ai fait voir que l'acide aspartique de M. Dessaignes était un isomère de l'acide aspartique et inactif, que l'acide tartrique de MM. Perkin et Duppa était de l'acide paratartrique et de l'acide tartrique inactif.

J'ai dédoublé, il est vrai, cet acide paratartrique du succin en acide tartrique droit et en acide tartrique gauche et M. Jungfleisch a fait davantage. Il a reproduit ce dédoublement avec l'acide paratartrique dérivé de l'acide succinique de synthèse totale, que M. Maxwell Simpson nous avait appris à préparer. M. Lebel, en outre, découvrant, devinant plutôt, par des vues théoriques ingénieuses, l'existence de divers paratartriques dans certains produits organiques de synthèse, ayant dans leurs formules ce qu'il appelle du carbone asymétrique, le

propylglycol de M. Wurtz, par exemple, a dédoublé également ces paratartriques en corps droits et en corps gauches inverses. Dès lors, on a dit : il n'y a donc pas que la vie végétale qui fasse des dissymétriques et la ligne de démarcation signalée par M. Pasteur entre la chimie chez les végétaux et chez les minéraux n'existe pas (1). C'est ici qu'est l'erreur d'appréciation. J'ai la prétention de vous montrer que cette séparation, cette barrière est, au contraire, affirmée par les résultats observés par moi d'abord, ensuite par M. Jungfleisch et par M. Lebel.

On peut exprimer les faits qui concernent la dissymétrie moléculaire de la manière suivante : quand les principes immédiats essentiels à la vie prennent naissance, c'est sous l'influence de forces dissymétriques et c'est pourquoi la vie fait des substances dissymétriques. Quand le chimiste dans son laboratoire combine des éléments ou des produits nés de ces éléments, il ne met en jeu que des forces non dissymétriques. Voilà pourquoi toutes les synthèses qu'il détermine n'ont jamais la dissymétrie.

Me demanderez-vous : quelles sont donc les forces dissymétriques qui président à l'élaboration des principes immédiats naturels ? Il me serait difficile de répondre avec précision ; mais la dissymétrie, je la vois partout dans l'univers. L'univers est dissymétrique. Imaginez le système solaire placé devant une glace, avec le mouvement propre de ses astres, vous aurez dans la glace une image, non superposable à la réalité. Placez devant une glace la terre avec les courants électriques en solénoïdes qu'imaginait Ampère pour rendre compte du magnétisme terrestre et de ses pôles, vous aurez une image non superposable à la réalité et, surtout, placez devant une glace la plante verte avec le rayon solaire qui la frappe, rayon qui ne la frappe jamais qu'étant en mouvement, vous aurez une image non superposable à la réalité. Sans nul doute, je le répète, si les principes immédiats de la vie sont dissymétriques, c'est que, à leur élaboration, président des forces cosmiques dissymétriques ; c'est là, suivant moi, un des liens entre la vie à la surface de la terre et le cosmos, c'est-à-dire l'ensemble des forces répandues dans l'univers. Vous, dans vos laboratoires,

1. Voici comment s'est exprimé M. Schützenberger : « Ainsi tombe la barrière que M. Pasteur avait posée entre les produits artificiels et les produits naturels. Cet exemple montre combien il faut être réservé dans les distinctions que l'on croit pouvoir établir entre les réactions chimiques de l'organisme vivant et ceux du laboratoire. » [*Loc. cit.*]

Dans une leçon récente de M. Jungfleisch (voir *Moniteur scientifique*, septembre 1883, 3<sup>e</sup> sér., XIII, p. 862), l'auteur dit : « Jusqu'à ces dernières années, on regardait les phénomènes de la vie comme étant seuls susceptibles de communiquer à la matière l'action sur la lumière polarisée... Cette barrière a été renversée. Voici des échantillons d'acide tartrique et de tartrates préparés par synthèse complète. »

avec vos dissolvants, vos actions de froid et de chaleur, vous n'avez à votre service que des forces symétriques. Est-ce à dire qu'il y ait là une séparation absolue? Non, certes. Loin que je l'aie jamais dit ou pensé, j'ai, le premier, indiqué les moyens de la faire disparaître. Que faut-il faire pour imiter la nature? Il faut rompre avec vos méthodes qui sont, à ce point de vue, surannées et impuissantes. Il faut chercher à faire agir des forces dissymétriques, recourir à des actions de solénoïde, de magnétisme, de mouvement dissymétrique lumineux, à des actions de substances elles-mêmes dissymétriques. Lorsque, entraîné, enchaîné, devrais-je dire, par une logique presque inflexible de mes études, j'ai passé des recherches de cristallographie et de chimie moléculaire à l'étude des ferments, j'étais tout entier à la pensée d'introduire la dissymétrie dans les phénomènes chimiques. A Strasbourg déjà, j'avais fait construire par Ruhmkorff de puissants aimants; à Lille, j'avais eu recours à des mouvements tournants, provoqués par des mécanismes d'horlogerie. J'allais essayer de faire vivre une plante, dès sa germination, sous l'influence des rayons solaires renversés à l'aide d'un miroir conduit par un héliostat.

Je ne vous dirai rien de ces tentatives dont quelques-unes me semblent aujourd'hui grossières. Pourtant les efforts que j'ai faits dans le but d'introduire la dissymétrie dans les actions chimiques des laboratoires n'ont pas été stériles.

En combinant la cinchonine, substance active dissymétrique, avec l'acide paratartrique, j'ai vu se déposer du tartrate gauche de cinchonine et le tartrate droit rester dans la liqueur. Avec un corps inactif, l'acide paratartrique, j'ai donc fait des actifs <sup>(1)</sup> simples séparés, l'acide tartrique gauche et l'acide tartrique droit. Quoique, à vrai dire, j'aie le premier imité la nature dans ses méthodes et établi une harmonie de fait entre les produits naturels et artificiels, je me garde bien d'en conclure que la barrière entre les deux chimies soit renversée. J'en conclus, au contraire, que l'expérience dont je vous parle consacre cette proposition, savoir que les forces mises en jeu dans nos laboratoires diffèrent de celles auxquelles la nature végétale est soumise.

J'ai introduit d'une autre manière, et d'une manière beaucoup plus intéressante, la dissymétrie dans les actions chimiques. J'ai montré que le paratartrate d'ammoniaque peut fermenter sous l'influence de petits champignons microscopiques et que l'acide tartrique gauche

1. Dans le texte est imprimé « inactif ». Sur un exemplaire de la *Revue scientifique*, Pasteur a corrigé de sa main « inactif » par « actif ». (*Note de l'Édition.*)

apparaissait. Le tartrate droit d'ammoniaque se décompose, le tartrate gauche reste intact. Avec un inactif paratartrique, j'ai donc fait apparaître la dissymétrie simple, mais pourquoi? C'est parce que le petit ferment est un corps vivant formé, comme tous les grands êtres, d'un ensemble de produits dissymétriques et que, pour sa nutrition, ce petit être s'accommode mieux du groupe tartrique droit que du groupe tartrique gauche.

J'ai fait plus encore : j'ai fait vivre de petites graines de *penicillium glaucum*, de cette moisissure qu'on trouve partout, à la surface de cendres et d'acide paratartrique, et j'ai vu l'acide tartrique gauche apparaître. C'est encore la dissymétrie simple obtenue avec un corps inactif; mais toujours également, pour arriver à ce résultat, il a fallu, vous le voyez, faire intervenir des actions de dissymétrie, la dissymétrie des produits immédiats naturels qui composent la graine de la moisissure.

Telles sont précisément les méthodes auxquelles M. Lebel a eu recours lorsqu'il a voulu extraire de ses paratartriques des actifs simples, des dissymétriques. Il a eu recours à l'emploi d'un dissymétrique ou à l'emploi d'une moisissure ou d'un microbe.

Encore une fois, ces expériences<sup>1</sup> accusent la ligne de démarcation profonde entre le règne minéral et le règne organique, puisque pour imiter ce que fait la nature, c'est-à-dire préparer un corps droit ou un corps gauche, nous sommes contraints de faire intervenir des actions toutes particulières, des actions de dissymétrie. La ligne de démarcation dont nous parlons n'est pas une question de chimie pure et d'obtention de produits tels ou tels, c'est une question de forces; la vie est dominée par des actions dissymétriques dont nous pressentons l'existence enveloppante et cosmique<sup>(1)</sup>. Je pressens même que toutes les espèces vivantes sont primordialement, dans leur structure, dans leurs formes extérieures, des fonctions de la dissymétrie cosmique. La vie, c'est le germe et le germe, c'est la vie. Or qui pourrait dire ce que seraient les *devenir* des germes, si l'on pouvait remplacer dans ces germes les principes immédiats, albumine, cellulose, etc., etc., par leurs principes dissymétriques inverses? La solution consisterait, d'une part, dans la découverte de la génération spontanée, si tant est

1. Je suis persuadé que le paratartrate double de soude et d'ammoniaque ne se dédouble lui-même, à l'ordinaire, dans sa cristallisation, que parce qu'une force dissymétrique est présente, et si ce n'est pas une action de lumière ou de magnétisme, je crois volontiers que cette force est due à quelque poussière organique dissymétrique à la surface des vases de cristallisation. Rien ne serait plus facile que de faire cristalliser une solution de paratartrate de soude et d'ammoniaque en dehors de toute poussière organique. On devrait obtenir le paratartrate non dédoublé.

qu'elle soit en notre pouvoir; d'autre part, dans la formation de produits dissymétriques à l'aide des éléments carbone, hydrogène, azote, soufre, phosphore, si, dans leurs mouvements, ces corps simples pouvaient être dominés, au moment de leurs combinaisons, par des forces dissymétriques.

Voudrais-je tenter des combinaisons dissymétriques de corps simples? je ferais réagir ces derniers sous l'influence d'aimants, de solénoïdes, de lumière polarisée elliptique,... enfin de tout ce que je pourrais imaginer d'actions dissymétriques.

Si je me suis fait comprendre, vous devez vous dire : oui, il y a une séparation profonde entre le règne organique et le règne minéral. Cette ligne de démarcation a deux expressions : d'une part, on n'a jamais fait un produit de synthèse, minéral ou organique, ayant d'emblée la dissymétrie moléculaire. On fait des paratartriques, mais les paratartriques sont des résultantes de forces symétriques. C'est se tromper entièrement que de croire qu'on fait de la dissymétrie quand on produit des paratartriques. D'autre part, la dissymétrie préside aux actions chimiques qui donnent lieu aux principes immédiats essentiels de la vie végétale et tout le prouve, en effet. De toute nécessité, nous devons chercher à mettre en jeu des forces dissymétriques, ce qu'on ne fait pas dans nos laboratoires actuels.

Permettez-moi de terminer cette exposition par des considérations d'un autre ordre qui me paraissent également très dignes d'attirer votre attention.

Combinons un corps dissymétrique avec un corps ayant un plan de symétrie. Supposons, par exemple, que de ma main droite je tiens ce livre. Il en résulte un assemblage tout pareil, et non superposable à l'assemblage que nous obtiendrions si je tenais ce même livre et de la même manière, avec ma main gauche. Par exemple, le tartrate droit de potasse (la potasse est un corps sans action sur la lumière polarisée, non dissymétrique) réalise un tel assemblage. Le tartrate gauche de potasse sera l'inverse de ce tartrate droit. Si ces tartrates cristallisent, et ils cristallisent, leurs formes seront identiques et non superposables; l'une sera l'image de l'autre dans une glace; ces formes possèdent l'hémiédrie que j'ai appelée non superposable. C'est là un fait absolument général. Tous les tartrates droits de bases inactives ont leurs dissymétriques inverses dans les tartrates gauches de ces mêmes bases. Mais supposons l'assemblage d'un corps dissymétrique avec un corps dissymétrique; supposons, par exemple, que je prenne de ma main droite un pied humain. Cet assemblage n'aura

plus une dissymétrie simple, mais double et très différente, au total, de la dissymétrie de l'assemblage de ma main gauche avec le même pied. Dans un cas, la dissymétrie droite de ma main droite s'ajoutera à la dissymétrie droite du pied, si c'est le pied droit, tandis que ma main gauche étant associée à ce pied droit, les deux dissymétries se contrarieront. Et comme il y a une main droite et une main gauche, un pied droit et un pied gauche, quatre assemblages seront possibles : main droite, pied droit; main gauche, pied gauche; main droite, pied gauche; main gauche, pied droit.

Les formes extérieures de ces quatre assemblages renfermeront toutes les mêmes parties, mais autrement distribuées. Combinons, pour plus de précision, l'acide tartrique avec l'acide malique, ou plutôt le tartrate d'ammoniaque avec le malate d'ammoniaque. L'acide malique est dissymétrique comme l'acide tartrique. Ce tartromalate d'ammoniaque donne une idée d'un des quatre groupes dont nous venons de parler. Que sera sa forme? Elle sera telle qu'elle en comportera trois autres semblables, mais ces quatre formes ne seront pas superposables les unes aux autres, c'est la tétartoédrie. Voici ces quatre formes. — J'ai étudié et préparé deux d'entre elles. Continuons : au lieu de deux corps dissymétriques, prenons-en trois; supposez, par exemple, que, tenant de ma main droite ce pied droit, j'y associe, en outre, ce corps qui est lui-même dissymétrique, parce que c'est une pyramide à quatre faces irrégulières. En considérant chacun des inverses de ces trois corps dissymétriques, j'aurai huit assemblages pareils, mais non superposables. Supposons que j'unisse l'acide tartrique à l'acide malique et à la quinine (à la morphine, à la cinchonine...), j'aurai trois groupes actifs réunis. Or, la forme cristalline de l'assemblage en comportera sept autres pareils non superposables. Au lieu de trois groupes dissymétriques réunis ensemble, prenez-en quatre et en les combinant avec leurs inverses, quatre à quatre, vous aurez seize assemblages possibles et, par conséquent, chaque forme en comporterait quinze autres pareilles. — La combinaison de cinq groupes dissymétriques comporterait trente-deux assemblages, et ainsi de suite. Eh bien, Messieurs, il y a ici une impossibilité cristallographique. La dissymétrie simple correspond à une dissymétrie inverse. Au droit répond le gauche. Une dissymétrie double peut donner lieu à quatre combinaisons. Dans le premier cas, c'est l'hémiédrie; dans l'autre cas, c'est la tétartoédrie; mais, étant données les lois de la cristallographie, il n'est pas possible d'imaginer l'octoédrie; ce mot même n'a jamais été employé, et encore moins a-t-on imaginé toutes les dissymétries plus élevées suivantes. Les

plus habiles cristallographes, praticiens ou mathématiciens, je le répète, non seulement n'ont pas rencontré, mais encore n'ont pas supposé l'existence possible de l'octoédrie. Ici se présente une des propositions, à mon avis, les plus curieuses. Vous savez que les molécules les plus complexes de la chimie végétale sont les albumines. Vous savez, en outre, que ces principes immédiats n'ont jamais été obtenus à l'état cristallin. Ne peut-on ajouter que, vraisemblablement, ils ne peuvent pas cristalliser? Pour comprendre l'impossibilité de leur cristallisation, d'après ce qui vient d'être dit, il suffit d'imaginer qu'ils sont constitués par trois groupes moléculaires dissymétriques; à plus forte raison, s'ils l'étaient par quatre, par cinq, etc., etc. S'il en est qui cristallisent, comme l'hémoglobine, on peut croire que ces produits ne sont pas dissymétriques ou qu'ils ne contiennent que deux groupes dissymétriques, non trois, non quatre, etc. Il serait fort intéressant d'établir expérimentalement cette proposition. La chose est facile. — On pourrait tenter, par exemple, de faire le tartromalate de quinine ou de toute autre base active. La cristallisation de telles combinaisons n'est-elle pas impossible (1)? En d'autres termes, pour faire les produits essentiels de la vie, les principes immédiats de nos tissus, de notre sang, principes qui doivent être mous, flexibles, glissants, non cristallins, la nature, pour faire ces produits de la vie, n'aurait qu'à unir un nombre minimum de trois groupes dissymétriques.

Vous jugerez sans doute avec moi, Messieurs, que cette limitation d'une part de la puissance de la nature par les lois de la cristallographie et cette extension de ses ressources au contraire dans la formation des principes immédiats de la vie, avec leurs caractères propres, sont bien dans l'harmonie générale des lois de l'univers où l'on retrouve tout à la fois la simplicité des moyens et la fécondité des résultats!

1. Dans le cas contraire, il faudrait imaginer qu'un des groupes dissymétriques serait placé dans l'assemblage total, de façon que son influence ne se fit pas sentir au pourtour du groupement général, ce qui, vraisemblablement, n'est pas possible.