
Membres de l'Académie des sciences depuis sa création : Hippolyte Fizeau

Sur la dilatation des corps solides par la chaleur

Note de H. Fizeau. C.R. T.66 (1868) 1005-1014 et 1072-1086



INSTITUT DE FRANCE
Académie des sciences



COMPTE RENDU

DES SÉANCES

DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES.

SÉANCE DU LUNDI 25 MAI 1868.

PRÉSIDENTE DE M. DELAUNAY.

MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS

DES MEMBRES ET DES CORRESPONDANTS DE L'ACADÉMIE.

M. LE SECRÉTAIRE PERPÉTUEL annonce à l'Académie que la première Partie du tome XXXVII de ses *Mémoires* est en distribution au Secrétariat : cette première Partie comprend l'éloge de Dutrochet par *M. Coste* et le Mémoire de *M. Regnault* sur la vitesse de propagation des ondes dans les milieux gazeux.

M. LE MINISTRE DE L'INSTRUCTION PUBLIQUE transmet à l'Académie l'ampliation du Décret impérial approuvant l'élection de *M. Cahours* à la place laissée vacante, dans la Section de Chimie, par la nomination de *M. Dumas* aux fonctions de Secrétaire perpétuel.

Il est donné lecture de ce Décret.

Sur l'invitation de *M. le Président*, **M. CAHOURS** prend place parmi ses confrères.

PHYSIQUE. — *Sur la dilatation des corps solides par la chaleur* (deuxième Mémoire); par **M. H. FIZEAU**.

« Dans le nouveau travail que j'ai l'honneur de soumettre à l'Académie, je me propose de présenter la suite de mes recherches relatives à la dilatation des corps solides par la chaleur, et principalement des corps cristallisés.

» Ayant soumis à l'observation un grand nombre de corps nouveaux, les ayant étudiés dans des directions variées, afin de mettre en évidence une loi générale qui paraît régir ces phénomènes; étant en outre parvenu, dans ces derniers temps, à observer avec sûreté, grâce aux savants conseils de M. Des Cloizeaux, des cristaux plus complexes appartenant aux formes obliques, je puis essayer aujourd'hui d'exposer avec plus de détails, et avec la sanction de l'expérience, les vues théoriques énoncées dans le premier Mémoire (séances des 21 et 28 mai 1866).

» Mais il convient d'abord de faire quelques remarques et de poser quelques principes, propres à écarter les objections qui pourraient être faites relativement à la régularité et à la constance des phénomènes dont il s'agit.

» Toutes les observations s'accordent à montrer que le phénomène du changement de volume d'un corps par la chaleur, que ce soit une dilatation ou une contraction, se produit toujours d'une manière continue et avec une régularité tout à fait semblable à celle des changements de la température, les mêmes volumes correspondant d'une manière toujours constante et identique aux mêmes températures.

» On doit donc rejeter toute supposition de variations subites, accidentelles et pour ainsi dire capricieuses, dans ce genre de phénomènes, aussi bien que l'existence de variations lentes qui se produiraient avec le temps dans la valeur numérique des coefficients de dilatation.

» Je puis citer, à l'appui de l'invariabilité de ces coefficients, deux déterminations faites avec des soins particuliers, à une année d'intervalle, sur un même cristal de quartz posé sur le même trépied de platine, ce dernier ayant subi dans cet intervalle de temps plusieurs centaines d'alternatives de températures comprises entre 7 et 80 degrés. Ces deux coefficients correspondent à la direction de l'axe du cristal :

$$\begin{array}{ll} 1^{\text{re}} \text{ détermination. . . .} & \alpha = 0,0000\ 0781\ 18; \\ 2^{\text{e}} \text{ détermination. . . .} & \alpha = 0,0000\ 0781\ 17. \end{array}$$

» Lorsque j'ai cherché, dans le précédent travail déjà cité, à coordonner les phénomènes alors connus concernant la dilatation des cristaux appartenant aux divers systèmes cristallins, le nombre encore trop limité des observations pouvait bien faire entrevoir une loi simple et générale, mais ne permettait pas de l'établir encore avec une rigueur suffisante; cependant, guidé par les analogies qui déjà apparaissaient avec évidence entre les caractères principaux de ces phénomènes et ceux que présentent

les phénomènes de propagation lumineuse et calorifique dans leurs rapports avec la symétrie générale des cristaux, je suis entré dans la voie qui depuis longtemps nous a été ouverte par les célèbres travaux de Fresnel sur la propagation de la lumière dans les cristaux, voie déjà suivie avec succès par Senarmont à l'occasion de ses découvertes sur l'inégale propagation de la chaleur dans les mêmes corps. Et de même que pour ces deux classes de phénomènes, on est parvenu à lier entre eux tous les faits observés par des considérations géométriques très-générales; de même pour les phénomènes de dilatation, on peut, par des considérations analogues, exprimer la loi des variations qui se manifestent dans les valeurs numériques des dilatations, lorsqu'on les considère suivant des directions diverses. Il y a donc trois ordres de phénomènes physiques bien distincts, qui peuvent être rattachés à des vues théoriques analogues: ce sont la propagation de la lumière et la propagation de la chaleur à travers les cristaux, enfin la dilatation par la chaleur du corps cristallisé lui-même; et ces vues théoriques sont précisément de la nature de celles dont les géomètres font usage lorsqu'ils étudient des surfaces ellipsoïdales. A la vérité, un même principe sert de point de départ commun dans l'explication théorique de ces trois ordres de phénomènes, c'est la considération de trois directions principales ou axes rectangulaires doués de propriétés physiques et géométriques bien définies, et autour desquels se rattachent comme des conséquences rigoureuses et dans leurs manifestations les plus variées l'ensemble des phénomènes.

» Je dois seulement ici chercher à définir et à préciser la notion de ces axes relativement aux phénomènes de dilatation qui nous occupent, et je rapporterai ensuite un certain nombre d'expériences qui démontreront, je pense, avec évidence que ces axes correspondent à des propriétés physiques réelles et bien distinctes qui ne permettent pas de les considérer comme une simple fiction géométrique, propre à grouper empiriquement les données de l'observation. Ils seront désignés désormais sous le nom d'*axes de dilatation*. L'expression d'*axes d'élasticité* employée dans le premier Mémoire étant devenue insuffisante par suite des résultats observés dans les cristaux obliques, on verra en effet plus loin que, dans ces cristaux, les trois espèces d'axes propres aux trois ordres de phénomènes mentionnés plus haut ne sont plus superposés comme dans les autres systèmes cristallisés, mais qu'ils y sont en réalité séparés les uns des autres à des distances angulaires souvent considérables.

» On a montré dans le premier Mémoire que si l'on cherche à exprimer

d'une manière générale la valeur de la dilatation d'un cristal suivant une direction quelconque rapportée à trois axes rectangulaires de dilatation, on parvient à une formule très-simple renfermant seulement les carrés des cosinus des angles faits avec les trois axes, ainsi que les trois coefficients principaux de dilatation correspondant à ces axes.

» Mais il importe de remarquer que le raisonnement qui a conduit à ce résultat repose en réalité sur le principe suivant :

» Quelque complexe que soit la forme cristalline, quelque variées que soient les dilatations observées dans les diverses directions du cristal, que ce soit même ici des contractions, là des dilatations, il n'existe véritablement que trois dilatations primitives, distinctes, indépendantes les unes des autres et se manifestant seulement dans trois directions fixes, orientées entre elles à angles droits; ce sont les trois axes de dilatation. Dans toute autre direction que celles-là, on n'observera que les effets simultanés de ces trois dilatations primitives, lesquelles se manifesteront toujours individuellement, suivant leurs intensités et leurs directions propres et d'une manière constante pour l'unité de longueur.

» On peut ajouter que toutes les parties élémentaires du cristal étant identiques entre elles, ces axes ne sont pas représentés par trois lignes de situation déterminée dans l'intérieur du cristal, mais en réalité par trois systèmes rectangulaires de lignes parallèles considérées dans chacun des points intérieurs.

» Pour achever d'énoncer ce qui paraît essentiel dans ces propriétés singulières qui semblent révéler en quelque sorte une disposition trinaire dans les éléments de la matière cristallisée, il reste à dire en quoi chacune des trois dilatations principales doit différer de toute autre dilatation résultante, ou, en d'autres termes, quel est le caractère distinctif d'un axe de dilatation.

» Que l'on imagine une sphère isolée dans la matière du cristal à une certaine température, si l'on vient à l'échauffer, la sphère se dilatera inégalement suivant ses divers rayons, et sa forme deviendra ellipsoïdale dans le cas le plus général; mais il y aura toujours trois diamètres rectangulaires entre eux aux extrémités desquels le déplacement d'un point situé sur la surface de la sphère se fera suivant une direction radiale, c'est-à-dire suivant le prolongement du rayon lui-même et sans déviation latérale.

» C'est là le véritable caractère des axes de dilatation et le principe de la construction géométrique d'où l'on a déduit, dans le premier Mémoire, la formule que nous examinons ici.

» Je vais maintenant rapporter les résultats des expériences qui ont été faites pour contrôler dans plusieurs de ses conséquences les plus importantes l'exactitude de la formule générale, en s'attachant à rechercher dans les divers systèmes cristallins les phénomènes les plus décisifs et les plus accessibles à l'observation.

» Désignant par D le coefficient de dilatation suivant une direction quelconque donnée par les angles δ , δ' , δ'' que fait cette direction avec les trois axes de dilatation, et appelant α , α' , α'' les trois coefficients de dilatation correspondant aux trois axes, on a la relation suivante

$$(1) \quad D = \alpha \cos^2 \delta + \alpha' \cos^2 \delta' + \alpha'' \cos^2 \delta'',$$

mais on a en même temps la relation connue qui exprime que les trois angles δ , δ' , δ'' sont rapportés à trois axes rectangulaires :

$$(2) \quad \cos^2 \delta + \cos^2 \delta' + \cos^2 \delta'' = 1.$$

» SYSTÈME CUBIQUE. — Les caractères généraux et les propriétés de ce système cristallin conduisent à considérer les trois dilatations principales comme égales entre elles, c'est-à-dire

$$\alpha = \alpha' = \alpha'',$$

alors l'équation (1) devient

$$D = \alpha (\cos^2 \delta + \cos^2 \delta' + \cos^2 \delta''),$$

et, à cause de l'équation (2),

$$D = \alpha,$$

c'est-à-dire que la dilatation est constante, indépendante de la direction considérée et toujours égale à celle qui a lieu suivant les axes dont la situation ne peut être révélée par aucune différence dans les dilatations, et doit être considérée comme indéterminée. Voici plusieurs observations qui se rapportent à des cristaux de ce système. Ces nombres et les suivants représentent la dilatation linéaire pour l'unité de longueur, pour 1 degré, et pour le point $\theta = 40$ degrés de l'échelle thermométrique.

» *Spath fluor.* — Normalement à une face du clivage octaédrique

$$\alpha = 0,0000 1911,$$

$$\alpha = 0,0000 1910;$$

sur une face du cube (autre cristal)

$$\alpha = 0,0000 1910,$$

sur une face taillée inclinée de 5 degrés sur une face du cube (autre cristal)

$$\alpha = 0,0000 1915.$$

» *Galène*. — Normalement à une face du clivage cubique

$$\alpha = 0,0000 2014,$$

sur une face octaédrique taillée

$$\alpha = 0,0000 2014.$$

» *Pyrite cubique*. — Normalement à une face naturelle du cube

$$\alpha = 0,0000 0907,$$

sur une face taillée dans un groupe de cristaux du Pérou sans orientation commune

$$\alpha = 0,0000 0908.$$

» *Cuivre oxydulé*. — Normalement à une face du dodécaèdre rhomboïdal

$$\alpha = 0,0000 0093,$$

sur une face située à 90 degrés de la précédente

$$\alpha = 0,0000 0093,$$

sur une face taillée dans un groupe de cristaux sans orientation commune

$$\alpha = 0,0000 0093.$$

» **SYSTÈME DU PRISME DROIT A BASE CARRÉE ET SYSTÈME HEXAGONAL OU RHOMBOÉDRIQUE.** — Ces deux systèmes, distincts sous le rapport cristallographique, se confondent par des caractères communs relativement aux phénomènes optiques, à la conductibilité calorifique et au mode de dilatation, ce qui paraît dépendre de la structure symétrique qu'ils présentent autour d'un axe cristallographique principal. Les dilatations sont ici différentes dans les diverses directions, et des raisons tirées de la symétrie de la structure font voir que l'un des axes de dilatation doit coïncider avec l'axe cristallographique principal, les deux autres lui étant perpendiculaires; si l'on admet par les mêmes raisons de symétrie l'égalité des coefficients correspondant à ces deux derniers axes de dilatation, ou $\alpha' = \alpha''$, l'équation (1) deviendra

$$D = \alpha \cos^2 \delta + \alpha' (\cos^2 \delta' + \cos^2 \delta'');$$

mais l'équation (2) donne

$$\cos^2 \delta' + \cos^2 \delta'' = 1 - \cos^2 \delta = \sin^2 \delta,$$

on aura donc (α étant la dilatation pour le premier axe)

$$(3) \quad D = \alpha \cos^2 \delta + \alpha' \sin^2 \delta.$$

» En considérant une direction quelconque normale au premier axe, ce qui donne

$$\delta = 90^\circ, \quad \cos^2 \delta = 0, \quad \sin^2 \delta = 1,$$

l'équation se réduit à

$$D = \alpha',$$

c'est-à-dire que dans toute direction normale au premier axe (lequel se confond avec l'axe de symétrie) la dilatation est constante, et qu'il n'est pas possible de distinguer les axes de dilatation.

» Pour toute direction faisant avec le premier axe le même angle $\delta = 54^\circ 44'$, on a

$$\cos^2 \delta = \frac{1}{3} \quad \text{et} \quad \sin^2 \delta = \frac{2}{3},$$

et l'équation (3) devient

$$D = \frac{\alpha + 2\alpha'}{3},$$

ce qui est précisément l'expression de la dilatation linéaire moyenne du cristal.

» Des expériences variées ont été faites sur diverses espèces de cristaux, afin de vérifier l'exactitude de cette propriété remarquable, qui se déduit de la théorie, propriété que l'on peut énoncer ainsi : Tous les cristaux affectant la forme de prismes droits, de rhomboèdres, d'hexagones réguliers ou de dérivés quelconques de ces formes doivent présenter une certaine direction angulaire (la même pour tous les cristaux) faisant avec l'axe cristallographique principal un angle de $54^\circ 44'$ (angle pour lequel $\cos^2 \delta = \frac{1}{3}$), et suivant cette direction, on doit trouver précisément le tiers de la dilatation cubique, ou la dilatation linéaire moyenne pour chaque cristal.

» On a fait voir antérieurement que, dans le cas le plus général, cette condition doit être satisfaite par les normales aux faces d'un octaèdre régulier convenablement orienté; or, dans le cas qui nous occupe, cet octaèdre de dilatation moyenne doit être conçu comme ayant un de ses axes coïncidant avec l'axe principal du cristal, les deux autres pouvant être orientés d'une manière quelconque.

» Pour faire cette comparaison décisive entre l'expérience et le résultat déduit de la théorie, il faut évidemment mesurer trois dilatations α , α' , α^m , dans les trois directions suivantes : la première parallèle, la seconde per-

pendiculaire à l'axe cristallographique principal; la troisième, suivant l'angle de $54^{\circ}44'$ avec ce même axe, les deux dernières directions pouvant être orientées dans un azimut quelconque autour du même axe.

» Dans ces circonstances, la dilatation cubique sera

$$\alpha^{\text{cub}} = \alpha + 2\alpha',$$

la dilatation linéaire moyenne

$$\alpha^{\text{lin}} = \frac{\alpha + 2\alpha'}{3},$$

et la théorie ne sera satisfaite que si cette dernière valeur coïncide avec la valeur trouvée directement pour α^{m} , c'est-à-dire si l'on a

$$\alpha^{\text{m}} = \alpha^{\text{lin}}.$$

» Voici les résultats des observations :

» α est la dilatation suivant l'axe cristallographique principal;

» α' suivant la normale à ce même axe;

» α^{lin} la dilatation linéaire moyenne déduite de α et de α' ;

» α^{m} la dilatation observée suivant l'angle de $54^{\circ}44'$, avec une incertitude de $5'$ à $10'$ dans la taille du cristal (*).

» *Zircon de Sibérie.* (Prisme droit à base carrée.)

$$\alpha = 0,0000\ 0443$$

$$\alpha' = 0,0000\ 0233$$

$$\alpha^{\text{lin}} = 0,0000\ 0303$$

$$\alpha^{\text{m}} = 0,0000\ 0304$$

» *Émeraude (Béryl).* (Hexagonal.)

$$\alpha = -0,0000\ 0106$$

$$\alpha' = 0,0000\ 0137$$

$$\alpha^{\text{lin}} = 0,0000\ 0056$$

$$\alpha^{\text{m}} = 0,0000\ 0057$$

» *Spath d'Islande.* (Rhomboédrique.)

$$\alpha = 0,0000\ 2621$$

$$\alpha' = -0,0000\ 0540$$

$$\alpha^{\text{lin}} = 0,0000\ 0514$$

$$\alpha^{\text{m}} = 0,0000\ 0507$$

(*) Je dois ici rendre un nouveau témoignage à l'habileté remarquable et au zèle intelligent avec lesquels M. Henri Soleil a exécuté les tailles de cristaux souvent très-déli- cates que ces recherches exigeaient.

» *Quartz.* (Rhomboédrique.)

$$\alpha = 0,0000\ 0781$$

$$\alpha' = 0,0000\ 1419$$

$$\alpha^{\text{lin}} = 0,0000\ 1206$$

$$\alpha^{\text{m}} = 0,0000\ 1206$$

» *Bismuth.* (Rhomboédrique.)

$$\alpha = 0,0000\ 1621$$

$$\alpha' = 0,0000\ 1208$$

» La troisième observation a été faite normalement à une face naturelle du rhomboèdre, c'est-à-dire suivant un angle de $56^{\circ}24'$ avec l'axe principal. Le calcul correspondant a été fait au moyen de la formule (3) :

$$\text{Calcul. } \alpha = 0,0000\ 1334$$

$$\text{Observation } \alpha = 0,0000\ 1338$$

» **SYSTÈME DU PRISME RHOMBOÏDAL DROIT** (*rhombique*). — La situation des axes de dilatation devant être toujours subordonnée à la structure cristalline, on doit admettre qu'à des directions identiques sous le rapport de la symétrie des faces correspondent des dilatations identiques, principe qui conduit immédiatement à fixer la situation des trois axes de dilatation, dans ce système, parallèlement aux trois axes cristallographiques.

» Que l'on imagine en effet un parallélépipède rectangle construit sur les trois axes cristallographiques comme arêtes; on voit immédiatement que, pendant la dilatation de ce solide, le déplacement d'un point quelconque situé sur une de ses faces ne peut avoir lieu que parallèlement à l'arête normale à cette face et sans déviation latérale, ce qui est le caractère de la dilatation axiale; car, s'il en était autrement et si le déplacement se faisait suivant une certaine direction inclinée, il suffirait de retourner le cristal de 180 degrés par un mouvement hémitrope, effectué dans le plan de la face considérée, pour retrouver une autre direction dont les rapports cristallographiques seraient les mêmes, et selon laquelle par conséquent la même inclinaison devrait également se produire.

» Le même genre de considération peut être employé pour déterminer la situation du premier axe dans le prisme droit à base carrée, précédemment considéré, ainsi que dans le prisme hexagonal; pour le cas du rhomboèdre, on arrive à une conclusion analogue en attribuant seulement au cristal deux rotations successives de 120 degrés.

» Une prochaine communication sera consacrée à compléter ce qui con-

cerne le système rhomboïdal droit et à considérer le système rhomboïdal oblique. »

CHIMIE. — *Sur l'occlusion du gaz hydrogène par les métaux ;*
par M. TH. GRAHAM.

« Dans les expériences que j'ai déjà publiées sur l'occlusion de l'hydrogène par le palladium, le platine et le fer, j'ai constaté que l'absorption du gaz était très-incertaine à basse température, mais qu'elle ne manquait pas de se produire toutes les fois qu'on chauffait le métal, soit sous la forme d'éponge, soit à l'état de masse agrégée sous le marteau, et qu'on la laissait refroidir lentement et complètement dans une atmosphère d'hydrogène. J'ai attribué ce fait à la nécessité d'employer une surface métallique absolument pure, condition essentielle à la première action absorbante, ainsi que cela a lieu, d'après l'observation de Faraday, pour la feuille ou le fil de platine, lorsqu'ils déterminent la combustion d'un mélange gazeux d'oxygène et d'hydrogène. Une nouvelle méthode de charger d'hydrogène ces métaux sous l'influence d'une basse température s'est présentée récemment et ne manque pas d'intérêt.

» Lorsqu'on met une plaque de zinc dans l'acide sulfurique étendu, l'hydrogène se dégage abondamment de la surface du métal ; mais il ne se produit dans cette expérience aucune occlusion ni rétention du gaz. On devait s'attendre, dans ce cas, à un résultat négatif à cause de la structure cristalline du zinc. Mais qu'on plonge une feuille de palladium dans le même acide, et qu'on le mette en contact avec le zinc, et il se charge aussitôt fortement de l'hydrogène qui se transporte alors à sa surface. La charge absorbée en une heure par une plaque de palladium assez épaisse, à la température de 12 degrés, s'éleva à 173 fois son volume.

» L'absorption de l'hydrogène fut plus frappante encore lorsqu'on se servit de la plaque de palladium comme d'électrode négative plongeant dans l'eau acidulée d'une pile de Bunsen de six cellules. Tandis que l'oxygène se dégageait vivement au pôle positif, l'effervescence au pôle négatif était entièrement suspendue pendant vingt secondes, à cause de l'occlusion de l'hydrogène par le palladium. La quantité absorbée s'éleva à 200^{vol}, 4, et dépassa de beaucoup la quantité d'hydrogène absorbée par la même plaque chauffée, puis refroidie dans une atmosphère du gaz, savoir 90 volumes. Il est digne de remarque que l'hydrogène, bien qu'il pénètre et imprègne sans doute toute la masse du palladium, ne montre pourtant

d'oxydation, de réduction et d'élimination de tel ou tel élément dans les combinaisons, etc.; peut-être est-ce en cela que consiste la force de tissu.

» En terminant ce Mémoire, je répondrai à une objection qui m'a été faite sur l'une des causes à laquelle j'attribue les phénomènes dont j'ai l'honneur d'entretenir l'Académie depuis un an. On a prétendu que ces phénomènes dépendaient de la capillarité et nullement de l'électricité. On s'est appuyé, à cet égard, sur le principe que j'ai avancé, en 1826, qu'il n'y avait pas d'électricité dégagée dans les doubles décompositions : à cette époque, on n'employait que des appareils qui n'avaient pas la sensibilité voulue pour constater la présence de l'électricité dans les doubles décompositions; mais aujourd'hui il n'en est plus ainsi, avec les appareils dont on dispose, comme je l'ai dit dans la deuxième partie de ce Mémoire, on trouve de l'électricité libre dans cette double action.

» Il peut se faire que le principe que j'ai posé, il y a plus de quarante ans, soit vrai, c'est-à-dire qu'il y ait recombinaison et neutralisation des électricités devenues libres dans les doubles décompositions; mais rien ne prouve que les parois des espaces capillaires ne servent pas aussi à la recombinaison de ces deux électricités, comme les molécules elles-mêmes; dans ce cas, l'appareil accuserait la présence de l'électricité qui aurait échappé à la recombinaison immédiate, ce qui ne changerait en rien la production du courant électrique dans les espaces capillaires. »

PHYSIQUE. — *Sur la dilatation des corps solides par la chaleur* (deuxième Mémoire, seconde partie); par **M. H. FIZEAU** (*).

« D'après ce qui a été dit dans la dernière séance, en terminant la première partie de ce Mémoire, on voit que dans le système rhombique les axes de dilatation doivent coïncider avec les axes cristallographiques. On sait d'ailleurs qu'il en est de même pour l'élasticité optique (bissectrices des axes optiques) et pour la conductibilité calorifique. Les trois ordres de phénomènes sont donc encore ici orientés de la même manière.

» Comme on pouvait le prévoir, les valeurs des trois dilatations principales sont différentes entre elles, et dans les directions intermédiaires on observe les dilatations les plus variées.

(*) L'Académie a décidé que cette communication, bien que dépassant les limites réglementaires, serait reproduite en entier au *Compte rendu*.

- » La formule (1) s'applique à ces cristaux dans toute sa généralité.
 » Si l'on pose $\vartheta = \vartheta' = \vartheta''$, la relation (2) donne

$$\cos^2 \vartheta = \frac{1}{3},$$

$$\vartheta = 54^\circ 44';$$

mais alors l'équation (1) se réduit à

$$D = \frac{\alpha + \alpha' + \alpha''}{3},$$

ce qui est le tiers de la dilatation cubique ou la dilatation linéaire moyenne du cristal.

» On a expliqué dans le premier Mémoire comment cette direction, faisant un angle de $54^\circ 44'$ avec chacun des axes de dilatation, conduit à concevoir un octaèdre régulier, ou octaèdre de dilatation moyenne, situé dans le cristal de manière que ses faces soient également inclinées sur les trois axes de dilatation, et jouissant de la propriété de donner, normalement à chacune de ses faces, la dilatation moyenne du cristal.

» Pour vérifier ces déductions théoriques, il faut déterminer dans un cristal quatre dilatations α , α' , α'' et α^m , les trois premières suivant les axes de dilatation, et la dernière suivant un angle de $54^\circ 44'$ avec ces axes.

- » Alors la dilatation cubique du cristal sera

$$\alpha^{\text{cub}} = \alpha + \alpha' + \alpha'';$$

la dilatation linéaire moyenne

$$\alpha^{\text{lin}} = \frac{\alpha + \alpha' + \alpha''}{3};$$

et, si la théorie est exacte, on doit avoir l'égalité

$$\alpha^m = \alpha^{\text{lin}},$$

c'est-à-dire que la dilatation trouvée directement suivant l'angle de $54^\circ 44'$ doit donner le même nombre que la dilatation linéaire moyenne déduite des trois dilatations mesurées suivant les axes.

» Ces observations ont été faites sur l'aragonite et la topaze. Le premier cristal présentait quelques accidents de structure (lames hémitropes); le second était pur et homogène.

» Appelant *premier axe*, celui qui coïncide avec la bissectrice de l'angle aigu des axes optiques;

» *Deuxième axe*, celui qui coïncide avec la bissectrice de l'angle obtus des axes optiques;

- » *Troisième axe*, celui qui est normal au plan des deux autres;
 » α , α' , α'' sont les dilatations suivant les *premier*, *deuxième* et *troisième axes*;
 » α^{lin} , la dilatation moyenne déduite des trois précédentes;
 » α^{m} , la dilatation observée sur une face de l'octaèdre de dilatation moyenne, c'est-à-dire suivant $54^{\circ}44'$ avec les trois axes.
 » *Aragonite*. (Prisme rhomboïdal droit.)

$$\alpha = 0,0000\ 3460$$

$$\alpha' = 0,0000\ 1719$$

$$\alpha'' = 0,0000\ 1016$$

$$\alpha^{\text{lin}} = 0,0000\ 2065$$

$$\alpha^{\text{m}} = 0,0000\ 2031$$

- » *Topaze*. (Prisme rhomboïdal droit.)

$$\alpha = 0,0000\ 0592$$

$$\alpha' = 0,0000\ 0484$$

$$\alpha'' = 0,0000\ 0414$$

$$\alpha^{\text{lin}} = 0,0000\ 0497$$

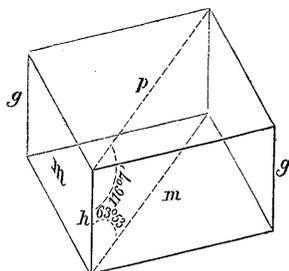
$$\alpha^{\text{m}} = 0,0000\ 0497$$

» **SYSTÈME DU PRISME RHOMBOÏDAL OBLIQUE OU CLINORHOMBIQUE.** — La complication des formes qui caractérisent les cristaux obliques, les particularités de leurs propriétés optiques, celles de leurs propriétés thermiques donnaient un intérêt spécial à l'étude de leur dilatation; en effet, en ne considérant ici que les cristaux les plus accessibles à l'expérience, tels que ceux du système simplement oblique, il y avait à rechercher si l'on y rencontrerait la même loi de dilatation que dans les systèmes d'une symétrie moins complexe, et dans ce cas quelle pourrait être l'orientation des trois axes rectangulaires de dilatation par rapport aux axes cristallographiques inclinés.

» La *fig. 1* représente la forme primitive d'un cristal appartenant à ce système; c'est le feldspath orthose: l'angle d'obliquité de $116^{\circ}7'$ est caractéristique de cette espèce minérale; il varie dans des limites assez étendues pour les autres substances cristallisant dans ce système, mais il est fixe pour chacune d'elles. Il suffit de supposer à cet angle une valeur de 90 degrés pour retomber sur le système précédent ou prisme rhomboïdal droit. Voici la marche qui a été suivie pour constater l'existence et déterminer la situation des axes de dilatation.

» Si nous considérons le plan de symétrie ph qui coupe le solide en deux moitiés symétriques non superposables, nous sommes conduits à admettre l'existence d'un axe de dilatation dirigé normalement à ce plan, et cela par la même raison déjà invoquée pour le prisme droit, qu'une rotation de 180 degrés de l'une des moitiés du solide sur l'autre ne change rien aux relations cristallographiques de ses parties. Si l'un des axes (il

Fig. 1.



» Pour vérifier ce premier point, on a fait deux observations sur un cristal de gypse où le plan de symétrie si nettement accusé par le clivage dominant permet des orientations très-sûres. Les deux directions en question étaient également inclinées sur le plan de symétrie et semblablement situées à droite et à gauche de ce plan, comme les normales aux faces m, m de la *fig. 1*. Il est clair que dans ce cas, si le premier axe a bien la position indiquée, quelle que soit d'ailleurs la position des deux autres, les deux directions considérées seront toujours également inclinées sur chacun des trois axes, et devront offrir par conséquent deux dilatations égales.

» Voici les deux valeurs trouvées (*):

$$\begin{aligned} &0,0000\ 1945, \\ &0,0000\ 1938, \end{aligned}$$

dont la différence se confond avec les incertitudes des expériences.

» En généralisant ce résultat, on peut admettre que dans les cristaux de ce système il existe un axe de dilatation normal au plan de symétrie, et

(*) L'orientation à laquelle correspondent ces dilatations peut être ainsi définie : suivant $54^{\circ} 44'$ avec la normale au clivage dominant, avec la direction du clivage fibreux, enfin avec une normale à ce clivage et du côté de l'angle aigu du prisme ($66^{\circ} 14'$).

coïncidant par conséquent avec un axe d'élasticité optique de Fresnel et avec un axe de propagation calorifique, lesquels se rencontrent toujours dans cette direction, d'après les importantes recherches de Senarmont et de M. Des Cloizeaux. Il y a donc encore ici superposition des trois ordres de phénomènes, comme dans les systèmes cristallins précédemment considérés.

» Quant à ce qui concerne la situation des deux autres axes de dilatation dans le plan de symétrie, une première recherche a été tentée pour voir si l'un de ces axes ne coïnciderait pas avec la bissectrice optique, ce qui aurait fixé leur orientation. Pour cela, un petit cube a été taillé dans un feldspath de l'Eifel (Wehr), minéral bien connu par les recherches de M. Des Cloizeaux sur la variation par la chaleur des propriétés optiques : une arête (A) parallèle à la bissectrice optique (axe d'élasticité optique), une autre (B) normale au plan de symétrie, la troisième (C) normale aux deux autres ; des troncatures octaédriques de ce cube donnaient deux autres directions (D), (E), suivant lesquelles les dilatations devaient être égales entre elles et égales à la dilatation linéaire moyenne du cristal, dans le cas où la coïncidence supposée serait réelle. Or voici les dilatations A, B, C, D, E correspondant à ces directions :

$$\begin{aligned} A &= 0,00001695 \\ B &= -0,00000163 \\ C &= -0,00000036 \\ D &= 0,00000826 \\ E &= 0,00000170 \end{aligned}$$

» Ces valeurs sont tout à fait inconciliables avec la coïncidence en question. L'axe de dilatation cherché n'existe donc pas dans la même direction que l'axe d'élasticité optique de Fresnel.

» Cependant, en examinant ces nombres avec attention et remarquant les différences considérables apportées dans les deux dilatations octaédriques D, E par l'inclinaison sur la face du cube de l'axe cherché, inclinaison qui ne peut évidemment excéder 90 degrés, on est conduit à concevoir la possibilité de déduire de ces déterminations la véritable inclinaison en cherchant par le calcul quelle situation il lui faut assigner pour satisfaire aux observations.

» Et, en effet, prenant pour inconnues l'angle χ ou l'inclinaison dans le plan de symétrie de l'axe cherché sur la direction (A) normale à une face du cube, et en outre les deux dilatations α_1 suivant cet axe, et α_2 sui-

vant l'autre axe, appelant enfin A, B, C, D les dilatations suivant les quatre directions (A), (B), (C), (D) désignées plus haut, on peut exprimer par la formule générale (1) trois de ces dilatations A, C, D en fonction de leurs directions angulaires rapportées aux trois axes, et des trois dilatations principales ou axiales; cela donne trois équations pour trois inconnues, d'où l'on parvient, à l'aide de quelques transformations analytiques, aux solutions suivantes :

$$(4) \quad \text{tang}^2 \chi + \text{tang} \chi \frac{2(A - C)}{3D - (A + B + C)} - 1 = 0,$$

$$(5) \quad \alpha_1 = \frac{1}{2} \left(A + C + \frac{A - C}{\cos 2\chi} \right),$$

$$(6) \quad \alpha_{11} = A + C - \alpha_1.$$

L'équation du second degré (4) donne, par les signes + et - de ses racines, deux tangentes qui répondent à deux angles χ distants de 90 degrés. Ce sont précisément les situations des deux axes de dilatation dans le plan de symétrie, χ est positif de (A) à (C); les équations (5) et (6) donnent les valeurs numériques des deux dilatations axiales correspondantes. Je dois faire remarquer que, si l'on introduit dans la formule (4) la dilatation octaédrique E au lieu de D, l'azimut de la face (E) étant à 90 degrés de celui de (D), il faut changer en même temps A en C et *vice versa*. Le calcul numérique fait successivement avec les valeurs D et E donne pour l'un des axes

$$\chi = 14^\circ 40', \quad \chi = 14^\circ 50'.$$

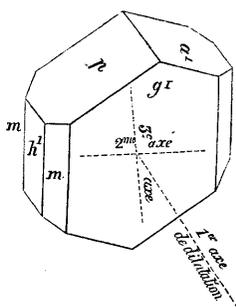
Cette direction est prise à partir de la bissectrice optique. Pour la rapporter à une face naturelle du feldspath p , par exemple, il faut, d'après l'orientation du cube, y ajouter $4^\circ 30'$, angle de la bissectrice avec p (*). Convenant de plus d'appeler *deuxième axe* celui qui est le plus près de la normale à la hauteur h' du prisme, on aura, pour l'angle du deuxième axe avec la base p dans l'angle obtus ph' ,

$$19^\circ 15'.$$

(*) Toutes les déterminations relatives aux bissectrices ou axes d'élasticité optique rapportées dans ce travail sont extraites de plusieurs savants Mémoires bien connus des physiciens et des minéralogistes, et que nous devons à M. Des Cloizeaux (*Annales des Mines*, t. XI et XIV), mais surtout du grand Mémoire du même auteur qui vient d'être imprimé dans le tome XVIII du *Recueil des Savants étrangers*. Je dois également à cet observateur éminent plusieurs déterminations nouvelles relatives aux axes de propagation thermique de Senarmont, extraites d'un travail inédit qu'il se propose de publier prochainement.

» La *fig. 2* est destinée à montrer plus clairement comment sont orien-

Fig. 2.



tés par rapport aux faces naturelles les trois axes de dilatation dans un cristal de feldspath orthose du Saint-Gothard.

» C'est sur des cristaux de cette espèce que l'on a pu faire les déterminations plus précises que nous donnerons plus loin avec les valeurs des dilatations axiales.

» Il est à peine nécessaire d'ajouter que, dans l'application des formules (4), (5), (6), l'orientation du cube peut être quelconque autour du premier axe; il est même préférable pour la précision de la taille qu'une de ses faces coïncide avec la base p , ou avec la hauteur h du prisme.

» Il existe une seconde méthode pour trouver la situation des axes et déterminer les dilatations principales, méthode qui présente plusieurs avantages, surtout pour la taille des cristaux, et qui a été généralement employée dans les observations qui vont suivre.

» On prend les mêmes inconnues que précédemment, c'est-à-dire χ , α_1 , α_{11} , mais on ne considère que deux directions rectangulaires (A) et (C), et une direction intermédiaire (M) faisant 45 degrés avec chacune des précédentes, toutes trois dans le plan de symétrie; cette direction (M) est normale à une facette tronquant l'arête et également inclinée sur deux faces adjacentes du cube. Exprimant comme précédemment les trois dilatations A, M, C par la formule générale (1), on parvient aux trois formules suivantes :

$$(7) \quad \text{tang } 2\chi = \frac{2(A-M)}{C-A} + 1,$$

$$(8) \quad \alpha_1 = \frac{1}{2} \left(A + C + \frac{A-C}{\cos 2\chi} \right),$$

$$(9) \quad \alpha_{11} = A + C - \alpha_1.$$

Les deux dernières sont identiques aux deux correspondantes de la première

méthode. La formule (7) est plus simple et plus facile à calculer que la précédente (4). Comme celle-ci, elle conduit également à deux valeurs rectangulaires, d'où l'on tire à la fois la situation des deux axes, particularité qui tient simplement à ce que les caractères propres aux tangentes permettent de poser

$$\operatorname{tang} 2\chi = \operatorname{tang} (2\chi \pm 180).$$

La dilatation suivant le premier axe doit être l'objet d'une détermination à part, si l'on veut compléter les résultats; mais elle n'est pas nécessaire pour ce qui concerne les deux premiers axes. Voici maintenant les observations relatives à plusieurs espèces minérales appartenant à ce système cristallin, avec les orientations variées qui s'en déduisent pour les axes, ainsi que les valeurs des trois dilatations principales ou axiales.

» *Feldspath orthose*. — Une détermination complète a été faite par la seconde méthode, sur un cube extrait d'un cristal du Saint-Gothard (présentant à un faible degré la courbure habituelle de ces cristaux).

» Les désignations restant les mêmes que précédemment, une face du cube se confond avec h^1 , une autre avec g^1 . Les directions étudiées sont alors respectivement normales (A) à h^1 , (B) à g^1 , (C) au plan perpendiculaire à ces deux faces, enfin (M) à la troncature également inclinée sur (A) et (C) dans l'angle aigu du prisme ($63^\circ 53'$); les dilatations mesurées sont les suivantes :

A =	0,0000 1874.00	$\Delta\alpha = 1.72$
B =	- 0,0000 0200.39 (1 ^{er} axe)	1.57
C =	- 0,0000 0114.67	1.30
M =	0,0000 1139.24	1.18

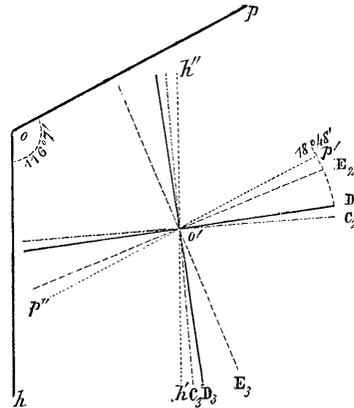
» Ces nombres, mis dans les formules (7), (8), (9), donnent

$$\begin{aligned}\chi &= - 7^\circ 19' \\ \alpha_1 &= - 0,0000 0148 \text{ (3^e axe)} \\ \alpha_{11} &= 0,0000 1907 \text{ (2^e axe)}\end{aligned}$$

» La formule donnant χ , positif dans l'angle aigu à partir de h^1 , l'orientation résultante est pour le deuxième axe à partir de p dans l'angle obtus : $18^\circ 48'$. On remarquera que, suivant le premier et le troisième axe, il y a dilatation négative ou contraction; que, suivant le deuxième axe, au contraire, il y a une dilatation considérable. La *fig. 3*, ainsi que les suivantes, est une section, suivant le plan de symétrie, destinée à donner une idée précise de l'orientation et de la situation relative des trois différents couples

d'axes rectangulaires. L'angle en O de $116^{\circ}7'$ est l'angle d'obliquité du prisme de l'orthose, p la base, suivant le clivage dominant, h la hauteur.

Fig. 3.



- » D_2, D_3 désignent les axes de dilatation, D_2 sur $p' = 18^{\circ}48'$.
- » E_2, E_3 sont les axes d'élasticité optique (bissectrice), E_2 sur $p' = 4^{\circ}30'$.
- » C_2, C_3 sont les axes de propagation thermique, C^2 sur $p' = 22^{\circ}7'$.
- » Les observations ci-dessus donnent encore :

Dilatation cubique.	$= 0,0000\ 1558.9$	$\Delta\alpha = 4.59$
Dilatation linéaire moyenne.	$= 0,0000\ 0519.6$	1.53

» Une seconde série d'expériences a été faite pour contrôler ces résultats; un autre cristal d'orthose adulaire de provenance différente a été taillé en cube orienté, à très-peu près, suivant les directions axiales que l'on vient d'assigner, les trois axes de dilatation normaux aux faces. On a ainsi trouvé directement les nombres suivants, dont la concordance avec les précédents sera sans doute jugée suffisante :

1 ^{er} axe.	$- 0,0000\ 0203.0$	$\Delta\alpha = 1.28$
2 ^e axe.	$0,0000\ 1905.2$	1.06
3 ^e axe.	$- 0,0000\ 0150.7$	1.46
Dilatation cubique.	$= 0,0000\ 1551.5$	3.80
Dil. linéaire moyenne	$= 0,0000\ 0517.2$	1.27

» On a ensuite transformé le cube en cubo-octaèdre par huit troncatures suivant les angles, ce qui a donné, avec le cube, l'octaèdre de dilatation moyenne. Les deux observations suivantes ont été faites, la première suivant une direction comprise dans l'angle (fig. 3) $h'p''$, la seconde dans

l'angle $p''h''$:

	0,0000 0506.7
	0,0000 0531.4
Moyenne.	<u>0,0000 0519.0</u>

La moyenne des deux nombres s'accorde bien avec la dilatation moyenne précédente, ce qui autorise à attribuer à un léger défaut d'orientation, suivant le plan de symétrie, la différence qui existe entre les deux nombres eux-mêmes.

» *Épidote*. — Cristal vitreux très-net du Brésil. Mêmes désignations que pour le feldspath, mais direction (A) normale à p , et (M) dans l'angle obtus du prisme.

A = 0,0000 0849.17	$\Delta\alpha = 2.18$
B = 0,0000 0913.26 (1 ^{er} axe)	2.55
C = 0,0000 0571.12	2.93
M = 0,0000 0361.14	1.74

Avec les formules (7), (8), (9), on déduit

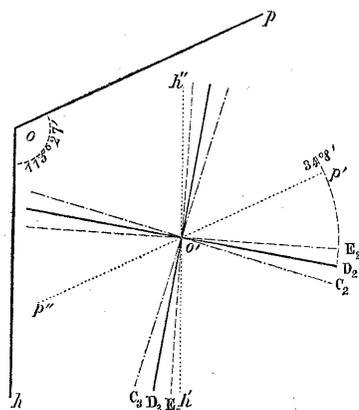
$$\chi = 34^{\circ} 8'$$

$$\alpha_1 = 0,0000 0334 \quad (2^{\text{e}} \text{ axe})$$

$$\alpha_{11} = 0,0000 1086 \quad (3^{\text{e}} \text{ axe})$$

» La *fig. 4* représente la distribution des axes dans l'épidote :

Fig. 4.



Angle d'obliquité.	= 115° 27'
D ₂ sur p'.	= 34° 8'
E ₂ »	= 29° 41'
C ₂ »	= 40° 27' (?)

» Les mêmes observations fournissent de plus les données numériques suivantes :

Dilatation cubique.	= 0,0000 2333.5	$\Delta\alpha = 7.66$
Dil. linéaire moyenne.	= 0,0000 0777.8	2.55

» Comme vérification, un autre cristal du Brésil a été taillé normalement à la direction D_3 , de manière à permettre de mesurer la dilatation suivant le troisième axe. L'observation a donné :

3^e axe. = 0,0000 1081

» *Pyroxène augite*. — Cristal de Westerwald, assez net, mais présentant plusieurs fractures intérieures. Désignations identiques à celles de l'épidote, sauf la direction (A) qui est normale à la hauteur h .

A = 0,0000 0465.25	$\Delta\alpha = 1.50$
B = 0,0000 1385.60 (1 ^{er} axe)	0.76
C = 0,0000 0597.85	1.34
M = 0,0000 0280.58	2.08

Les mêmes formules conduisent aux nombres

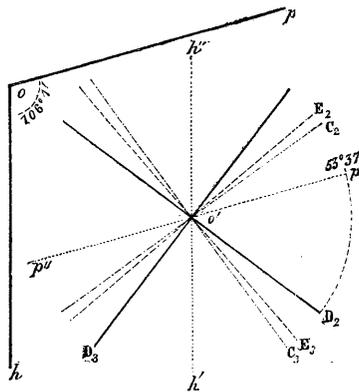
$$\chi = - 37^{\circ} 36'$$

$$\alpha_1 = 0,0000 0791 \quad (3^e \text{ axe})$$

$$\alpha_{11} = 0,0000 0272 \quad (2^e \text{ axe})$$

» La *fig. 5* se rapporte au pyroxène augite; on y trouve trois axes voi-

Fig. 5.



sins, notés D_2 , E_3 , C_3 , par suite de la convention faite d'appeler deuxième

axe le plus près de la normale à h :

Angle d'obliquité.	=	106° 1'
D ₂ sur ρ'	=	53° 37'
E ₃	=	67° 7'
C ₃	=	71° 7'

» Il résulte des mêmes observations :

Dilatation cubique.	=	0,0000 2448.7	$\Delta\alpha = 3.60$
Dil. linéaire moyenne	=	0,0000 0816.2	1.20

» Un autre cristal d'augite de même nature a été taillé pour être observé suivant le troisième axe. La concordance est ici moins satisfaisante entre le calcul et l'observation, ce qui paraît dépendre de l'imperfection des cristaux. On a trouvé, en effet,

$$3^{\text{e}} \text{ axe.} = 0,0000 0811$$

» *Amphibole*. — Le cristal observé a présenté une particularité singulière, celle d'absorber et de perdre facilement l'humidité de l'air en changeant de volume, surtout dans la direction normale à la hauteur h . Cette propriété, qui ressemble à celle du tissu ligneux, a rendu les expériences difficiles et peu certaines; elles doivent être tentées de nouveau avec d'autres cristaux de variétés moins fibreuses. On s'est donc borné à faire une première détermination de la dilatation cubique de l'amphibole par les trois mesures suivantes (mêmes désignations que précédemment) :

A = 0,0000 0805.1	$\Delta\alpha = 3.74$	
B = 0,0000 1021.7	0.62	
C = 0,0000 0770.3	1.69	
Dilatation cubique.	= 0,0000 2597.1	6.05
Dil. linéaire moyenne	= 0,0000 0865.7	2.02

Azurite de Chessy. — Cristal isolé, assez net, mais présentant des faces un peu courbes surtout sur les bords. Désignations et directions observées identiques à celles de l'épidote :

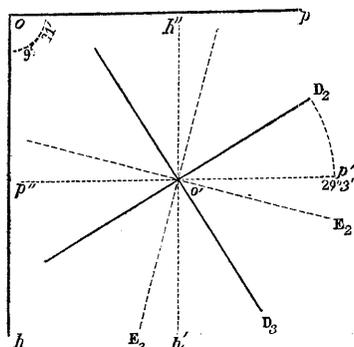
A = 0,0000 0415.50	$\Delta\alpha = 2.78$
B = 0,0000 1258.93	(1 ^{er} axe) 2.03
C = 0,0000 1567.30	3.86
M = 0,0000 0066.66	1.72

» Les formules (7), (8), (9) conduisent aux nombres suivants :

$$\begin{aligned}\chi &= -29^{\circ}3' \\ \alpha_1 &= 0,0000\ 2081 \quad (2^{\circ} \text{ axe}) \\ \alpha_{11} &= -0,0000\ 0098 \quad (3^{\circ} \text{ axe})\end{aligned}$$

On peut remarquer ici un nouvel exemple de contraction que présente le troisième axe; on voit de plus que la dispersion azimuthale des axes ne paraît pas en rapport avec le plus ou moins d'obliquité du prisme, car dans l'azurite (ou chessylite) l'angle de p sur h (fig. 6) diffère peu de 90 degrés,

Fig. 6.



et cependant l'angle azimuthal de D_2 est très-grand. La situation des axes thermiques n'a pas encore été déterminée pour cette substance :

$$\begin{aligned}\text{Angle d'obliquité} &\dots\dots\dots = 92^{\circ}21' \\ D_2 \text{ sur } p' \text{ (dans l'angle aigu)} &\dots\dots\dots = 29^{\circ}3' \\ E_2 \text{ sur } p' \text{ (dans l'angle obtus)} &\dots\dots\dots = 15^{\circ}0'\end{aligned}$$

Enfin on déduit des mêmes observations :

$$\begin{aligned}\text{Dilatation cubique} &\dots\dots\dots = 0,0000\ 3241.7 \quad \Delta\alpha = 8.67 \\ \text{Dilatation linéaire moyenne} &\dots\dots\dots = 0,0000\ 1080.6 \quad 2.89\end{aligned}$$

» *Gypse de Montmartre*. — Un cristal très-homogène, dont le clivage dominant (c'est ici le plan de symétrie) était d'une netteté remarquable, a été taillé en cube orienté sur le clivage fibreux. Les désignations étant les mêmes que précédemment, il suffit d'ajouter que la direction (A) est normale au clivage fibreux; que (D), (E) sont celles qui ont été spécifiées page 1075; enfin que (M), (M') ont été obtenues par les mêmes troncatures, légèrement retouchées du côté de l'angle aigu du prisme. Les directions étudiées ont été assez nombreuses sur cette substance pour obtenir quatre

déterminations de l'angle χ : deux par les directions à $54^{\circ}44'$ [formules (4), (5), (6)] et deux par les directions à 45 degrés [formules (7), (8), (9)].
Voici les observations :

A = 0,0000 2746.40	$\Delta\alpha = 2.88$
B = 0,0000 4163.40 (1 ^{er} axe)	9.36
C = 0,0000 0344.05	1.64
D = 0,0000 1944.84	3.15
E = 0,0000 1938.10	3.81
M = 0,0000 0868.89	- 0.06
M' = 0,0000 0866.85	0.42

Le résultat des calculs est le suivant :

$$\chi = \begin{cases} 15^{\circ}17' \\ 15^{\circ}27' \\ 14^{\circ}41' \\ 14^{\circ}44' \end{cases}$$

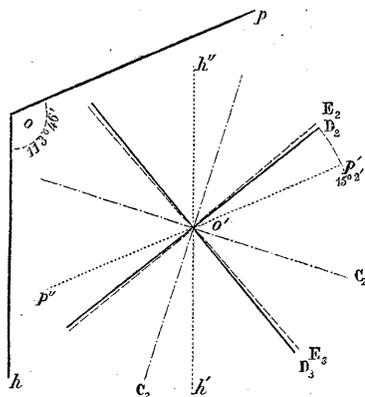
Moyenne... $15^{\circ} 2'$

$$\alpha_1 = 0,0000 0157 \text{ (2^e axe)}$$

$$\alpha_{11} = 0,0000 2933 \text{ (3^e axe)}$$

» On peut remarquer sur la *fig. 7* qu'il y a dans le gypse une coïncidence

Fig. 7.



presque complète entre les axes de dilatation D et les axes d'élasticité optique E. La bissectrice aiguë des axes optiques correspond à E_2 dans la figure; sa situation a été prise pour la température $\theta = 40^{\circ}$, à laquelle toutes les mesures précédentes ont été rapportées; son angle avec p' est donc

un peu plus grand qu'à la température ordinaire [M. Neumann (*)]; on voit de plus que les axes de conductibilité de Senarmont sont au contraire très-écartés des axes de dilatation :

Angle d'obliquité.	= 113° 46'
D ₂ sur p' (dans l'angle aigu).	= 15° 2'
E ₂ sur p' (dans l'angle aigu).	= 39° 35'
C ₂ sur p' (dans l'angle obtus).	= 39° 46'

» Voici, de plus, la dilatation cubique du gypse telle qu'elle résulte des mesures précédentes :

Dilatation cubique	= 0,0000 7254	$\Delta\alpha = 13.88$
Dilatation linéaire moyenne.	0,0000 2418	4.63

» Enfin, une vérification a été faite sur un cristal de gypse blanc dans une direction très-voisine du deuxième axe, où l'on a trouvé le nombre

$$0,0000 0159.8$$

» Je demande la permission, en terminant ce Mémoire, de remettre à une autre communication plusieurs développements dont ces recherches paraissent susceptibles, et pour lesquels les expériences et les calculs ne sont pas encore terminés. »

CHIMIE ORGANIQUE. — *Note sur deux phénols isomériques, les xylénols;*
par M. AD. WURTZ.

« J'ai indiqué l'année dernière, avec MM. Dusart et Kekulé, un procédé propre à convertir les hydrocarbures aromatiques en phénols, et à l'aide duquel j'avais obtenu artificiellement le phénol, le crésylol et un alcool dérivé de la naphthaline, que je pensais être le naphtol, mais qui avait donné à l'analyse les nombres exigés par l'oxynaphtol $C^{10}H^6 \begin{cases} OH \\ OH \end{cases}$ (**). Le procédé dont il s'agit consiste à traiter les hydrocarbures aromatiques par l'acide sul-

(*) M. Neumann avait, de plus, conclu des expériences de Mitscherlich qu'il y avait un minimum de dilatation pour le gypse dans une direction faisant un angle de 12 degrés avec le clivage fibreux.

(**) Ce corps s'était formé sans doute par l'action de la potasse sur l'acide disulfonaphtalique $C^{10}H^6 \begin{cases} SO^3H \\ SO^3H \end{cases}$, formé en même temps que l'acide monosulfonaphtalique par l'action de l'acide sulfurique fumant sur la naphthaline.

furique fumant, ou, comme le fait M. Dusart, simplement par l'acide sulfurique, et à décomposer par la potasse fondante les acides sulfo-conjugés ainsi obtenus. Mon intention était de l'appliquer à la préparation de divers nouveaux phénols ou oxyphénols; mais comme d'autres chimistes s'occupent du même sujet (1), je ne crois pas devoir continuer mes expériences, me bornant à publier celles qui ont été faites dans le cours de l'hiver dernier.

» Elles ont pour objet la transformation du xylène en un xylénol et ont conduit à ce résultat intéressant que ce carbure d'hydrogène donne naissance à deux phénols isomériques l'un avec l'autre, un xylénol solide et un xylénol liquide.

» Du xylène bouillant à 139 degrés, et qui avait passé entièrement entre 138 et 140 degrés, a été agité avec le double de son volume d'acide sulfurique ordinaire. Il s'y est dissous, et, pour compléter la dissolution, on a eu soin de chauffer légèrement au bain-marie. L'acide sulfoxylénique ainsi formé a été converti en sel de baryum, puis en sel de potassium, et ce dernier a été fondu au creuset d'argent avec le double de son poids de potasse. Le xylénol ainsi formé a été séparé par l'acide chlorhydrique et dissous dans l'éther.

» Le liquide qui est resté après l'évaporation de l'éther a passé à la distillation à 210 degrés environ. Conservé pendant les grands froids de cet hiver, il s'est pris en une masse de cristaux. Ceux-ci ont été séparés d'une eau-mère demeurée liquide, par compression entre des feuilles de papier non collé. Les cristaux ont été dissous dans l'éther, et la solution éthérée a été soumise à l'évaporation spontanée jusqu'à ce que la plus grande partie de l'éther fût volatilisée. Alors le tout a été déposé de nouveau sur du papier non collé qui a absorbé l'eau mère éthérée. Après une nouvelle et très-forte compression, on a obtenu une matière sèche, qui a été purifiée par distillation. C'est le xylénol solide.

» D'autre part, les papiers imprégnés de la partie du produit brut demeurée liquide, ont été distillés avec de l'eau. Les vapeurs de celle-ci ont entraîné un produit liquide, presque insoluble dans l'eau. Ce produit, séché et purifié par distillation, constitue la modification liquide du xylénol.

» *Xylénol solide*, $C^8H^{10}O$. — Ce corps se dépose de sa solution éthérée en lames brillantes et parfaitement incolores. Comprimés, ces cristaux prennent un aspect nacré. Ils fondent à 75 degrés. Le liquide entre en ébullition et bout d'une manière constante à 213°,5, la boule et la tige plon-

(1) M. Wroblveski a publié récemment une Notice dans laquelle il décrit un xylénol liquide.

geant dans la vapeur. Par le refroidissement le xylénol fondu se prend en une masse cristalline d'une blancheur parfaite. En se solidifiant il éprouve une contraction notable, qui dépasse le dixième du volume, pour une différence de température comprise entre 81 et 72 degrés. A une température peu supérieure à son point de fusion, le xylénol émet des vapeurs abondantes qui se condensent, dans la partie supérieure du vase, en cristaux très-légers, très-brillants et d'un blanc de neige.

» Le xylénol solide se dissout abondamment dans l'éther et dans l'alcool. Il est doué d'une odeur phénique très-prononcée et très-persistante. Fondu, il possède une densité de 0,9709 à 81 degrés.

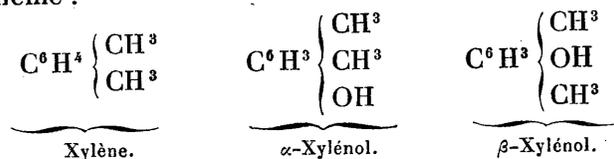
» *Xylénol liquide*, $C^8H^{10}O$. — C'est un liquide parfaitement incolore, très-réfringent, doué d'une forte odeur de phénol. Sa densité à zéro est égale à 1,036; à 81 degrés, elle est égale à 0,9700. Son coefficient de dilatation entre ces limites de température est de 0,000868.

» Il bout à 211°,5 sous la pression de 0^m,7597, la boule et la tige étant plongées dans la vapeur.

» Le xylénol est miscible en toutes proportions avec l'alcool et l'éther. Il se dissout en très-petite quantité dans l'eau et peut dissoudre lui-même une faible proportion de ce liquide (1).

» Bien que ce corps ne se soit pas solidifié à de basses températures, il est probable néanmoins qu'il tient en dissolution une certaine portion de son isomère solide.

» L'isomérisie de ces deux xylénols s'explique d'ailleurs aisément par la position différente du groupe oxyhydrile par rapport aux deux chaînes méthyliques que renferme l'hydrocarbure et qui passent intacts dans le xylénol lui-même :



(1) Je donne ici les analyses des deux xylénols. Les nombres obtenus pour le xylénol liquide accusaient dans ce produit la présence d'une trace d'eau qu'il a été impossible de séparer par distillation. J'ai réussi à obtenir un produit anhydre en distillant dans le vide le liquide sur quelques fragments de baryte sèche qui retient une grande partie du xylénol en combinaison. Le reste passe sans eau.

Théorie.	Xylénol solide.		Xylénol liquide.	
	I	II	I	II
Carbone.....	78,63	78,47	78,12	78,66
Hydrogène.....	8,19	8,55	8,28	8,60

» Au reste cette isomérisation pourrait exister pour le xylène lui-même, par suite d'une disposition différente des deux chaînes latérales dans la chaîne principale, selon la belle théorie de M. Kekulé. »

GÉODÉSIE. — *Prolongation à travers la Turquie du grand arc méridien Russo-scandinave.* Lettre de M. OTTO STRUVE à M. Le Verrier.

« Je me rappelle avec plaisir les sentiments de satisfaction sympathique que vous m'avez témoignés lorsque l'été passé, pendant mon bref séjour chez vous, j'ai reçu de Poulkova l'agréable nouvelle que le gouvernement ottoman avait consenti à la continuation, à travers la Turquie, de notre grand arc méridien Russo-scandinave, et que l'Observatoire de Poulkova était invité à prendre la direction scientifique de ce travail. C'était l'ancienne idée chérie de feu mon père, qui, enfin, promettait de trouver sa réalisation.

» Quelque impatient que je fusse dans le temps de faire à ce sujet une communication préalable à l'Académie de Paris, au sein de laquelle cette question a déjà été discutée en 1857, j'ai différé jusqu'à ce qu'il me fût possible de parler de l'entreprise dans des termes plus précis et avec la conviction que les conditions locales ne s'opposaient pas à la continuation projetée de l'arc jusqu'à l'extrémité la plus méridionale de l'Europe. Ce moment étant arrivé, je m'empresse de vous adresser les détails suivants, en vous priant de les porter à la connaissance de l'Académie, qui, par ses antécédents historiques, ne peut guère manquer d'accueillir avec intérêt toute information concernant des travaux qui promettent de contribuer essentiellement à une connaissance plus complète de la figure de la Terre.

» En Russie, les travaux de haute géodésie, à peu d'exceptions près, sont exécutés ou dirigés par des officiers, qui, après avoir fait à Poulkova un cours complet d'astronomie pratique, entrent au service de l'État-major impérial. L'organisation scientifique de ces travaux et leur contrôle par rapport à l'exactitude sont confiés à notre Observatoire. Pour faciliter les fréquentes relations qui nous unissent ainsi avec le Dépôt de la Guerre, nous avons jugé utile, dans les derniers temps, d'attacher toujours un de ces officiers à l'Observatoire central en qualité d'astronome-géographe. A l'époque actuelle, cet emploi est occupé depuis deux ans par le capitaine Kartazzi, officier qui s'est distingué entre autres dans les opérations de la levée trigonométrique du Caucase. C'est pourquoi, lorsque chez vous j'ai reçu la nouvelle mentionnée, l'idée se présenta tout de suite