

Séance du 2 avril 1877.

PRÉSIDENTENCE DE M. TOURNOUËR.

M. Brocchi, secrétaire, donne lecture du procès-verbal de la dernière séance, dont la rédaction est adoptée.

Par suite des présentations faites dans la dernière séance, le Président proclame membres de la Société :

MM. BOITEL, Inspecteur général de l'Agriculture, rue Madame, 56, à Paris, présenté par MM. Delesse et Pellat ;

FILHOL (Henri), rue Cuvier, 16, à Paris, présenté par MM. Gaudry et Sauvage.

Le Président annonce ensuite deux présentations.

M. Jannettaz fait la communication suivante :

Relations entre la propagation de la Chaleur et l'Élasticité sonore dans les roches et dans les corps cristallisés,

par M. Ed. Jannettaz.

§ 1. HISTORIQUE.

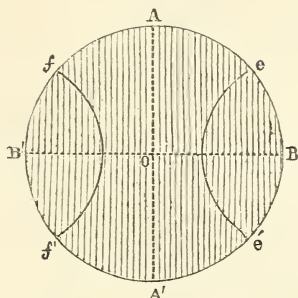
Savart a étudié le premier, au moyen des lignes nodales, les variations de l'élasticité dans les milieux à structure non homogène.

Voici en résumé les expériences du célèbre physicien.

Sur une lame de laiton taillée en disque circulaire, il avait gravé des sillons parallèles, d'une faible profondeur. Il fixait le centre du disque et en ébranlait les bords à l'aide d'un archet. Il répandait sur la face non striée un peu de poudre à écrire. Lorsque le disque rend un son, la poudre se rassemble sur les points qui restent immobiles, pendant que les autres exécutent leurs vibrations; elle y dessine ce qu'on appelle les *lignes nodales*.

En ébranlant les points BB' (fig. 1), on obtient une courbe *ee'ff'*, qui a la forme de deux branches d'hyperbole dont l'axe réel, BB', est perpendiculaire aux stries. Or cette ligne est celle de plus petite résistance à la flexion. L'axe imaginaire, AA', est donc parallèle à la ligne de plus grande élasticité.

Fig. 1.



Si l'on opère sur un disque de bois dont le plan est parallèle à l'axe de la tige, on observe une courbe du même genre, dont l'axe imaginaire est aussi parallèle à la direction d'élasticité maximum, c'est-à-dire aux fibres du bois.

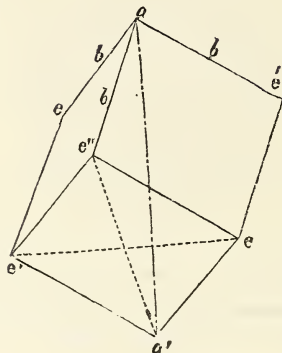
Si, au lieu des points BB' , on ébranle l'un des points e, e', f, f' , on obtient deux diamètres rectangulaires entre eux, dont l'un est parallèle et l'autre, par conséquent, perpendiculaire aux fibres.

Dans les corps qui possèdent trois axes d'élasticité inégaux, on peut tailler deux lames contenant chacune deux de ces axes dans leur plan. On obtient, comme précédemment, deux lignes diamétrales rectangulaires ou deux branches d'hyperbole, suivant les points du bord qu'on ébranle. La lame qui rend le son le plus aigu, correspondant au plus grand nombre de vibrations, renferme dans son plan les axes de plus grande et de moyenne élasticité.

Savart a expérimenté sur le cristal de roche, qui présente, comme on sait, six faces en zone verticale, formant le prisme e^2 , surmonté à chacune de ses extrémités d'une pyramide à six faces composée du rhomboèdre primitif p et du rhomboèdre inverse de même angle $e^{1/2}$. Des disques taillés parallèlement aux deux faces adjacentes de l'une de ces pyramides rendent des sons qui diffèrent d'environ un ton majeur. On voit se former deux branches d'hyperbole, en ébranlant une extrémité de la direction qui correspond sur une face de la pyramide à la ligne de plus grande pente ou, si l'on préfère, à la projection de l'axe de figure et de principale symétrie sur cette face; l'hyperbole a son axe imaginaire sur cette projection, qui est celle de l'axe d'élasticité maximum de la plaque.

D'après Savart, on observe un triple système d'axes d'élasticité dans le quartz hyalin; chacun d'eux a son axe de plus petite élasticité sur l'arête obtuse ou culminante, ae'' (fig. 2), celui de moyenne élasticité sur la diagonale horizontale, ee' , celui d'élasticité plus grande sur la diagonale inclinée ou ligne de plus grande pente, $e''a'$.

Fig. 2.



Dans le calcaire ou spath d'Islande, les axes de plus grande élasticité sont parallèles aux arêtes culminantes ou obtuses, ae'' (même figure), ceux de moyenne aux diagonales horizontales, ee' , ceux de plus petite aux diagonales inclinées, $a'e''$ (1).

Dans son cours de 1838-39 (2), le célèbre acousticien résume les expériences précédentes, et il ajoute que si, au lieu d'ébranler un point des bords d'un disque d'une matière quelconque, on en ébranle le centre, on obtient une courbe fermée. Mais, si le disque ne présente pas une élasticité constante dans toutes les directions, si, par exemple, on opère sur un disque de bois parallèle à l'axe de la tige et à la direction générale des fibres, on donne lieu à la production d'une ellipse dont le petit axe indique la direction suivant laquelle la résistance à la flexion est la plus grande.

On peut ébranler le centre du disque, soit en le faisant traverser par une tige et en faisant vibrer cette dernière, soit en fixant deux ou plusieurs points du disque et en faisant passer ensuite un faisceau de fils d'archet au travers d'un trou central qu'on met en vibration par un point de ses bords. C'est ce dernier procédé que Savart me paraît avoir employé dans le cas des disques à élasticité variable.

Angström reprit les expériences de Savart; il opéra particulièrement sur deux espèces minérales du système klinorhombique, le Gypse et le Feldspath orthose. Il adopta aussi pour les disques la forme circulaire, et suivit exactement les mêmes procédés: il dessinait au moyen d'une aiguille les figures acoustiques sur le gypse. Angström, de même que Savart, fixait le centre du disque et en faisait vibrer les bords; il don-

(1) V. Savart, *Ann. de Chimie*, t. XL; 1829.

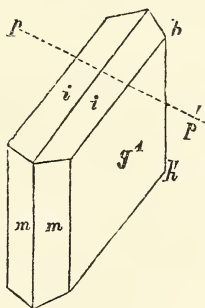
(2) *L'Institut*, 7^e année, p. 382 et s.; 1839.

nait ainsi lieu à la formation d'hyperboles. Puis, inversement, il fixait les bords et ébranlait le centre du disque; les figures nodales produites de cette dernière façon étaient des courbes fermées.

Savart avait abordé l'étude du gypse; mais il s'en était tenu à l'emploi du premier procédé.

On sait que les cristaux de gypse appartiennent au système du prisme oblique à base rhombe. Ils se clivent dans plusieurs directions. L'une est parallèle au plan de symétrie g^1 des cristallographes français, P de Haüy; c'est le clivage le plus net et le plus facile. Deux autres plans de clivage coupent le premier à angle droit et sont inclinés l'un sur l'autre de 114° environ; ce sont les plans p et h^1 des cristallographes français; la ligne hh' indique l'intersection de h^1 , et la ligne pp' celle de p avec le plan g^1 (fig. 3).

Fig. 3.



On appelle aussi clivage fibreux le plan p (T de Haüy), et clivage vitreux le plan h^1 (M de Haüy), à cause de l'aspect que présentent les faces auxquelles ils donnent lieu.

Enfin, on y connaît une quatrième direction de cassure à peu près plane, à laquelle Haüy donnait le nom de clivage surnuméraire, à peu près parallèle à la petite diagonale de la section parallélogrammique g^1 . Cette direction me paraît plutôt un plan de stratification ou de superposition, qu'un plan de clivage.

Le plan de clivage g^1 et les deux plans p et h^1 sont donc parallèles aux trois faces d'un prisme oblique à base rectangle, dont ils forment les arêtes en se coupant deux à deux. L'intersection de p et de h^1 est perpendiculaire au plan g^1 , déterminé par les deux axes obliques de cristallisation, dont l'un est parallèle à la diagonale inclinée de la base ou trace de la base sur le plan g^1 , et dont l'autre est parallèle à l'arête h ou trace de h^1 sur g^1 .

Savart avait relevé deux systèmes d'hyperboles sur un disque de

gypse à faces parallèles à g^1 . L'une des hyperboles avait ses asymptotes parallèles aux deux clivages fibreux et vitreux. L'axe réel de l'autre hyperbole était parallèle au clivage fibreux (notre face p). Pour Angström, cet axe a en effet cette direction, à $1^\circ \frac{1}{3}$ près. L'axe réel du second système est à 60° du précédent.

En perçant un disque de gypse d'un trou central dont il faisait vibrer les bords au moyen de fils d'archet, Angström a vu se produire des courbes fermées, ayant l'aspect d'ellipses, mais dont les contours se maintenaient toujours en dehors de ceux d'ellipses véritables menées avec les deux diamètres dont les longueurs différaient le plus. Pour la courbe principale, le plus petit axe de figure, correspondant au plus grand axe d'élasticité du gypse, faisait $53^\circ 40'$ avec le clivage vitreux (face p) et $12^\circ 20'$ avec le clivage fibreux (face h^1).

En réduisant les disques à une épaisseur de $0^{\text{mm}}4$, Angström a pu observer un système de courbes d'un ordre plus élevé, qui se compose à la fois d'une ellipse et d'une hyperbole. L'ellipse a son petit axe à $48^\circ 20'$ du clivage fibreux.

De cette position variable des axes des ellipses qui se manifestent en même temps que des sons d'inégales hauteurs, Angström a conclu qu'à des sons de hauteurs différentes correspondent des axes différents d'élasticité : il y aurait donc dans les cristaux appartenant aux systèmes obliques, une dissémination des axes d'élasticité sonore, analogue à celle des axes d'élasticité optique.

Angström a opéré aussi sur le Feldspath orthose. Il a fait vibrer un disque de cette matière parallèle au plan g^1 , en ébranlant un point de ses bords; il a obtenu deux systèmes d'hyperboles : le premier se réduisait à peu près à deux droites rectangulaires, dont l'une était presque parallèle à l'arête h du cristal.

On savait que le clivage fibreux du gypse fait des angles de 14° avec la ligne moyenne des axes optiques, de 12° avec le plus petit axe de dilatation par la chaleur, de 50° avec l'axe de plus grande propagation thermique, de 62° avec le plus petit pouvoir conducteur de l'électricité; enfin, d'après le mémoire d'Angström, le même clivage serait incliné de 50° sur le plus grand axe d'élasticité acoustique.

Il suit de là que ces axes, au point de vue de leur direction, se grouperaient en deux classes, qui ne laissent pas d'intermédiaires entre elles. Les phénomènes d'élasticité optique et ceux de dilatation par la chaleur se rattachent au premier groupe. Le second embrasse les phénomènes acoustiques et ceux de propagation de la chaleur.

Je me suis trouvé entraîné à répéter ces expériences, par cette relation que j'ai découverte entre l'ordre de plus grande facilité des clivages et celui de la propagation plus facile de la chaleur. Car ce sont

des vérités évidentes et reconnues qu'une séparation plus facile dans une direction indique une cohésion plus faible entre les éléments matériels disposés à droite et à gauche de cette direction, et qu'en outre l'élasticité doit aussi être en relation avec la cohésion.

Angström avait déjà remarqué, comme on vient de le voir, que les axes d'élasticité sonore sont peu éloignés de ceux de la propagation de la chaleur, dans le gypse et dans l'orthose.

§ 2. EXPÉRIENCES.

Mes recherches m'ont amené d'abord à regarder ce fait comme général et, de plus, à dissiper l'indécision qui résultait des expériences antérieures.

I. CURVRE. Savart employait un disque circulaire, percé d'un trou central et marqué de stries peu profondes. C'est l'expérience qu'il a regardée comme fondamentale, et dont il a tiré toutes ses conclusions. Je l'ai répétée et j'ai obtenu, comme Savart, une seule courbe, de forme elliptique, allongée perpendiculairement aux stries, et un son unique ne variant pas avec la position des points rendus fixes.

Mais, au lieu de me borner à cette expérience, j'ai opéré sur un autre disque, de 83^{mm} de diamètre, de 0^{mm}65 d'épaisseur, en y faisant graver cette fois, non plus un seul, mais deux systèmes de stries, rectangulaires entre elles, de 0^{mm}5 de profondeur, et distantes les unes des autres de 1^{mm} dans le premier système, de 2^{mm} dans le second.

En fixant deux points sur la strie du premier système qui passe par le centre, direction de la plus grande élasticité, chacun de ces points fixes étant sur le milieu du rayon du disque, j'ai vu apparaître deux lignes nodales : l'une voisine du bord et ondulée, l'autre elliptique, dont le grand axe, borné à ses deux extrémités par les deux points fixes, était au petit dans le rapport 1,8. Le son qui s'est fait entendre était le second *do dièze* au-dessus du *la* normal.

En fixant deux points situés aussi au milieu des deux rayons qui formaient ensemble un diamètre du cercle, mais sur une direction parallèle à celle de la plus petite élasticité, celle des stries espacées de deux millimètres, j'ai vu se produire les mêmes courbes ; mais la courbe elliptique avait ses axes placés en sens inverse de ceux de l'ellipse qui s'était manifestée dans le cas précédent. Le son rendu était le second *mi* au-dessus du *la* normal.

On ne peut assimiler les masses cristallines au disque de Savart, strié dans une seule direction. Un disque où l'on a creusé plusieurs systèmes de stries s'en rapproche évidemment davantage. On vient de

voir que le son est plus aigu lorsque les points rendus fixes se trouvent sur la direction de plus petite élasticité, que dans le cas contraire, en comparant, bien entendu, les sons correspondants aux mêmes systèmes de courbes. Savart, qui n'avait opéré que sur un disque strié dans une seule direction, n'avait pas connaissance de ces deux sortes de sons. Angström a bien observé des sons de différentes hauteurs dans les cristaux ; mais il n'en a pas compris la cause.

J'ai fixé les milieux des rayons du disque, et non leurs extrémités situées sur la circonférence, parce que le peu d'épaisseur de ce disque l'empêchait de résonner dans cette dernière condition, et que j'avais été obligé, d'un autre côté, de l'amincir, pour rendre sensible l'influence du striage sur les sons qu'il pouvait rendre.

II. ARDOISE DE DEVILLE (*Ardennes*). Je dois à l'obligeance de M. Nivoit, Ingénieur des mines à Mézières, un morceau de phyllade détaché d'une masse qui présentait nettement le *clivage* ordinaire, c'est-à-dire une divisibilité facile suivant des plans bien parallèles entre eux et à la schistosité visible, et en même temps une séparation assez facile également, appelée *longrain*, suivant une direction plane, perpendiculaire au clivage précédent. J'ai fait tailler dans cet échantillon un disque de 11^{cm}4 de diamètre, à faces parallèles aux plans de clivage. J'ai percé ce disque d'un trou; je l'ai fait vibrer, en ébranlant un point des bords du trou central. J'ai fixé d'abord deux extrémités d'un diamètre parallèle au longrain; le son rendu pendant les vibrations du disque était le *ré dièze*; j'ai obtenu en même temps pour figure nodale une ellipse dont le grand axe, parallèle au longrain, était au petit dans le rapport de 1,86 à 1.

J'ai fixé ensuite deux extrémités d'un diamètre incliné à 45° sur le précédent. La figure acoustique était une ellipse identique avec la précédente, mais le grand axe en était parallèle au diamètre dont les extrémités étaient rendues immobiles, et le son était intermédiaire entre le *ré dièze* et le *mi*.

En fixant les extrémités du diamètre perpendiculaire au longrain, j'ai fait naître une autre courbe nodale, et cette courbe était aussi une ellipse, dont le grand axe, perpendiculaire au longrain, était au petit dans le rapport de 1,83 à 1. Le son rendu était intermédiaire entre le *mi* et le *fa*.

Ainsi, de la position parallèle au longrain à la position perpendiculaire, le son a monté d'un peu plus d'un ton mineur. Donc, dans l'ardoise :

1° On obtient non pas une seule courbe fermée, à petit axe parallèle à la direction de plus grande élasticité, comme on aurait pu le conjecturer d'après les expériences de Savart et d'Angström, mais

plusieurs courbes qui ne diffèrent pas sensiblement les unes des autres ;

2° L'orientation des axes de ces courbes dépend surtout de celle de la droite qui réunit les points fixés ;

Mais 3° le son monte de plus en plus à mesure que le diamètre à extrémités rendues fixes s'éloigne de la direction de plus grande élasticité.

J'ai aussi produit une courbe isothermique sur le plan de schistosité de ce disque ; c'était une ellipse, dont le grand axe était parallèle au longrain, et dans laquelle le rapport des axes était de 1,065.

En résumé, dans l'ardoise, sur le plan de clivage :

1° Propagation plus facile de la chaleur, élasticité plus grande, clivage plus facile, parallèlement que perpendiculairement au *longrain* ;

2° Dans le cas où l'on ébranle un disque par un trou central, le son est plus élevé lorsqu'on fixe deux extrémités d'un diamètre perpendiculaire au longrain, que lorsqu'on fixe les deux extrémités du diamètre parallèle.

III. QUARTZ HYALIN. D'après Savart, il y a dans les cristaux de quartz trois axes de plus grande élasticité, parallèles aux trois diagonales inclinées, e' a' , du rhomboèdre primitif (fig. 2), et trois axes de plus petite élasticité, parallèles aux arêtes obtuses du même rhomboèdre (arêtes culminantes, notées b par les cristallographes). L'axe de figure qui réunit les sommets des pyramides terminales fait un angle de $57^{\circ} 41'$ avec les arêtes obtuses, et un angle de $37^{\circ} 47'$ avec les diagonales inclinées. Il est donc à une plus petite distance angulaire de ces diagonales que des arêtes. Il suit de là que *l'élasticité doit être plus grande suivant l'axe principal que sur la base des cristaux*. La base, ou plan a' des cristallographes, est perpendiculaire, comme on sait, à l'axe principal.

J'ai fait vibrer deux disques de quartz par l'ébranlement du contour d'un trou central.

Ces deux disques, notés I et II dans le tableau ci-contre (p. 418), étaient tous deux parallèles à l'axe et à une face latérale du prisme. Le disque II avait $8^{\text{cm}}278$ de diamètre et $0^{\text{cm}}098$ d'épaisseur ; le disque I un diamètre de 6^{cm} et une épaisseur de $0^{\text{cm}}137$.

Dans le quartz on observe des clivages assez nets, quoique difficiles, parallèlement aux faces du rhomboèdre primitif ; *la chaleur s'y propage le plus facilement suivant l'axe principal*, dont le coefficient d'élasticité est supérieur au moins à celui des directions perpendiculaires à cet axe, d'après les expériences mêmes de Savart ; et, de plus, d'après mes expériences, le son monte de plus en plus à mesure que la direction à extrémités rendues fixes s'éloigne de l'axe principal.

Angle de l'axe principal et de la droite qui joint les points fixes.	I		II	
	Rapport des axes des figu- res acous- tiques.	Sons correspon- dants.	Rapport des axes des figu- res acous- tiques.	Sons correspon- dants.
0°	1.35	3° sol au-des- sus du la nor- mal.	1.351	2° do dièze au- dessus du la normal.
45°	—	—	—	2° ré, un peu au-dessous.
90°	1.353	3° sol dièze ou la bémol.	1.353	2° ré dièze, un peu au des- sous.

IV. CALCAIRE. Ici, d'après Savart, les axes de plus petite élasticité sont parallèles aux arêtes obtuses ou culminantes, *b*, du rhomboèdre de clivage, qui font un angle de 63° 45' avec l'axe principal du cristal. Les axes de plus petite élasticité sont les diagonales inclinées, *e'' a'*, dont l'angle avec l'axe principal (45° 23' 23'') est à peu près égal à l'angle complémentaire (44° 36' 37'') qu'elles font avec la base (plan *a'*). Donc l'élasticité serait plus petite, mais de très-peu, suivant la base que suivant l'axe, en ne tenant compte que des projections de l'élasticité des diagonales inclinées; plus grande, au contraire, suivant la base, en tenant compte de l'élasticité des diagonales obtuses. Celles-ci sont beaucoup plus rapprochées de la base que les arêtes; mais c'est un fait bien remarquable que l'élasticité atteigne ses valeurs minima dans le calcaire parallèlement aux diagonales inclinées, c'est-à-dire aux plans de clivage. D'après les expériences de Savart et les miennes, je me crois autorisé à conclure que l'élasticité est généralement la plus grande suivant les plans du clivage le plus facile. Cela résulte aussi de la théorie mathématique de l'élasticité.

Il est curieux surtout de rapprocher de cette anomalie offerte par le calcaire celle qu'il présente également vis-à-vis de la chaleur, qui fait contracter ses cristaux dans les directions perpendiculaires à l'axe (Mittscherlich, M. Fizeau), et qui se propage plus facilement suivant l'axe que suivant la base, malgré la position des plans de clivage, comme je l'ai fait remarquer dans mon premier mémoire (1).

On peut en rapprocher encore cette singulière propriété des cristaux de se laisser beaucoup plus facilement rayer suivant les diagonales

(1) Sur la propagation de la chaleur dans les corps cristallisés, *Annales de Chimie et de Physique*, 4^e sér., t. XXIX, p. 5; 1873.

inclinées, lorsqu'on en remonte la pente, que lorsqu'on la descend (Huyghens).

V. GYPSE. Plusieurs difficultés se sont élevées devant moi. Savart et Angström ne sont pas d'accord sur la position des axes d'élasticité qu'on trouve en faisant vibrer des disques de gypse par les bords, après en avoir fixé le centre.

J'avais pour me guider les courbes qu'on obtient en exerçant une légère pression sur une lame de gypse parallèle au plan de symétrie, obtenue par clivage. La facilité du clivage détache l'un de l'autre deux feuillets de cette lame, dans toute une région dont les bords colorés de teintes irisées manifestent l'inégalité de cohésion autour du point pressé. Les courbes concentriques ainsi colorées sont des ellipses, dont le grand axe, parallèle à celui de plus facile propagation de la chaleur sur le plan g^1 , est à 17° du clivage vitreux du gypse (1). Elles mesurent la résistance à la flexion et, par suite, l'élasticité, dans les différentes directions.

Or, le grand axe de l'ellipse principale qu'avait obtenue Angström en faisant vibrer un disque circulaire par le centre, était situé à environ 13° du clivage vitreux (à 53° du clivage fibreux).

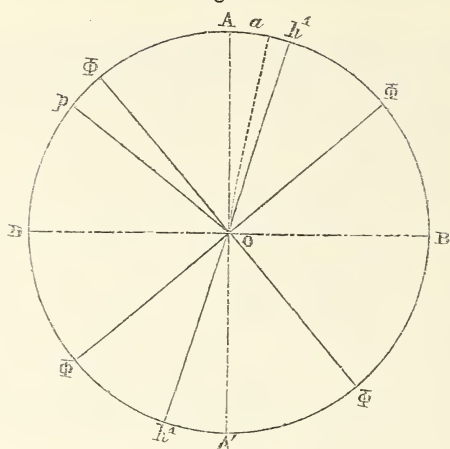
Je me suis demandé à quoi tenait cette divergence entre la position des axes observée par Angström à l'aide des courbes nodales, et celle que j'ai obtenue au moyen d'anneaux colorés elliptiques, que je viens de rappeler et qui me paraît beaucoup plus certaine. J'ai pensé que la forme du disque devait déterminer des perturbations dans la position des axes des courbes nodales.

Angström, en effet, de même que Savart, a opéré sur des disques circulaires; *la forme de cercles n'est évidemment pas celle qu'il faut donner à des matières où l'élasticité n'est pas la même dans tous les sens autour d'un même point.* J'ai donc donné aux contours de mes disques la forme d'ellipses, en faisant varier la direction et les longueurs relatives de leurs axes.

1^o Ébranlement par les bords. *Disques circulaires.* En ébranlant au moyen de l'archet une des extrémités du diamètre BB' (fig. 4), perpendiculaire au grand axe des anneaux colorés elliptiques, j'ai vu se former sur le disque deux branches d'hyperbole, ayant ce diamètre pour axe réel et le diamètre AA' pour axe imaginaire. En ébranlant l'un des quatre points Φ , on a deux branches d'hyperbole presque rectilignes, obliques l'une sur l'autre; l'une de ces branches coïncide avec le diamètre BB' ; l'autre, $O a$, se trouve à environ 7° du clivage vitreux, $O h^1$, à 10° du diamètre AA' .

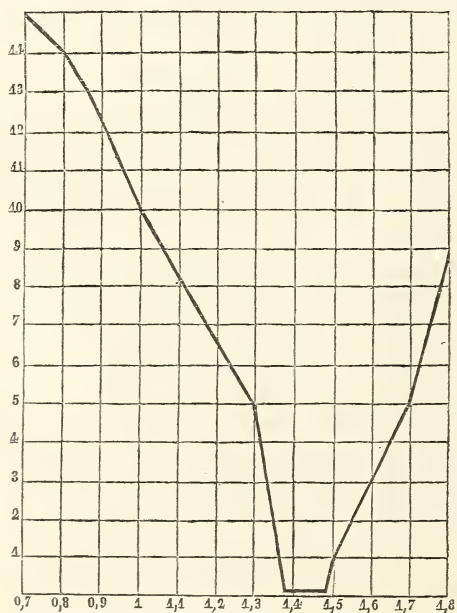
(1) *Op. cit.*, p. 69.

Fig. 4.



Disques elliptiques. Leurs axes étaient l'un parallèle et l'autre perpendiculaire à OA. Appelons α l'angle formé par le rayon OA, parallèle au grand axe des anneaux colorés elliptiques, et par l'asymptote Oa . Soit maintenant deux lignes rectangulaires entre elles, représentant l'une la variation du rapport des axes de figure des disques, l'autre la variation de l'angle α exprimée en degrés (fig. 5).

Fig. 5.



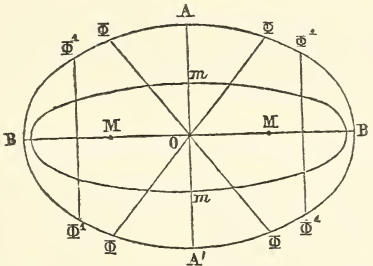
La ligne brisée figurative de la variation de α met en évidence que la valeur de α diminue depuis le rapport des axes 0,7 jusqu'au rapport 1,4; que α s'annule pour une valeur de ce rapport voisine de 1,44; qu'à cette limite on rencontre un point de rebroussement, et qu'ensuite l'asymptote s'éloigne de plus en plus de OA.

Dans le rapport des axes de figure des disques, j'ai toujours pris pour unité celui qui est parallèle à la direction OA.

Quand les axes du contour elliptique du disque sont voisins du rapport 1,44, ils coïncident avec les deux branches d'hyperbole, devenues rectilignes et rectangulaires entre elles.

Si l'on opère sur un disque dont les axes présentent à peu près ce rapport limite de longueur entre eux, mais des orientations différentes de celles qui précèdent (OA et OB), les deux asymptotes deviennent parallèles l'une au grand axe du disque et l'autre à la direction OA. L'angle des asymptotes était dans mon expérience de $100^\circ 1/2$. Ainsi, la direction limite OA me paraît bien être celle d'un des axes d'élasticité situés dans le plan g^1 du gypse.

Fig. 6.



Sur un disque (fig. 6) dont le grand axe de figure avait $8\text{cm}1$ et le petit $5\text{cm}58$ (le rapport des axes étant par conséquent 1,45), j'ai noté les différents sons qui accompagnent les différentes courbes nodales. En ébranlant un point voisin de A ou de B, j'ai vu la poudre se rassembler sur deux diamètres $\Phi\Phi$, inclinés à $37^\circ 1/2$ à droite et à gauche de OA, et sur deux droites $\Phi^1\Phi^1$, parallèles à OA, qui coupent OB et OB' au $1/4$ à partir du bord; le son était un peu plus élevé que le *mi* de la 2^e octave au-dessus du *la* normal.

En ébranlant B, on a le même son.

Aussitôt qu'on ébranle Φ , extrémité d'une des droites diamétrales précédentes, le sable vient se placer sur les deux axes du disque, AA' et BB'; le son qui se fait entendre est plus élevé de $1/12$ que le *si* immédiatement supérieur au *la* normal.

La différence des deux sons est $5/2$; mais la division de la plaque est plus complexe pour le premier que pour le second.

Tableau synoptique des sons et des figures *acoustiques*

Bull. Soc. géol. France.

1° Plaque <i>circulaires.</i>				
DIAMÈTRE (en centièmes de millimètre).	ÉPAIS- SEUR.	POIDS.	POINTS FIXÉS	
			COURBE SIMPLE.	
			Longueur et rapport des axes.	Note
4942	0 ^{mm} 37	1 gr. 63	$\frac{4504}{2825} = 1.594$	ré ₃ dièze, un bas de 1/32
6060	0 ^{mm} 33	2 gr. 439	$\frac{5700}{3390} = 1.681$	sol ₄ dièze
5000	0 ^{mm} 38	1 gr. 756	$\frac{4500}{2850} = 1.573$	ré ₃ dièze
5720	0 ^{mm} 36	2 gr. 35	$\frac{5300}{3360} = 1.577$	do ₃
5650	0 ^{mm} 458		$\frac{4850}{3190} = 1.52$	do ₃ , 1/16 de dessus.
3640	0 ^{mm} 96	2 gr. 289	$\frac{3628}{2440} = 1.487$	sol ₄ dièze
4700	0 ^{mm} 562		$\frac{4520}{3210} = 1.408$	fa ₃ , un peu au
6200	0 ^{mm} 55		$\frac{6130}{4510} = 1.359$	la ₃ dièze
4510			$\frac{3950}{2850} = 1.386$	si bémol
6860	0 ^{mm} 46	3 gr. 6		1/4 de ton au- dessus de la ₂
5845	0 ^{mm} 564	3 gr. 654		fa ₃ dièze
5705	0 ^{mm} 559	3 gr. 616		la ₃
4930	0 ^{mm} 51	2 gr. 192		la ₃ , un peu au

2° Plaque <i>écliptiques.</i>				
Longueur et rapport des axes de figure de la plaque.	Épais- seur.		POINTS FIXÉS	
			COURBE SIMPLE.	
			Longueur et rapport des axes.	Note
8.265 : 5.075 = 1.628	0 ^{mm} 56		7.7 : 2.9 = 2.655	sol ₃ dièze, un dessus
8.45 : 5.7 = 1.482	0 ^{mm} 5		6.8 : 3.52 = 1.93	ré ₃
6.87 : 4.7 = 1.462	0 ^{mm} 64		5.915 : 2.79 = 2.12	do ₄
6.175 : 4.325 = 1.427	0 ^{mm} 376		5.45 : 2.45 = 2.224	sol ₃
7.38 : 5.265 = 1.402	0 ^{mm} 43		6.25 : 2.95 = 2.12	do ₃
6.3 : 4.5 = 1.4	0 ^{mm} 4		5.325 : 2.5 = 2.13	entre la ₃ et
6.15 : 4.52 = 1.36	0 ^{mm} 416		5.15 : 2.62 = 1.96	do ₄ (sol ₃ dièze dedans)
7.4 : 5.6 = 1.321	0 ^{mm} 533			do ₃ dièze
7.3 : 5.75 = 1.27	0 ^{mm} 588		6.7 : 3.3 = 2.03	do ₃ dièze

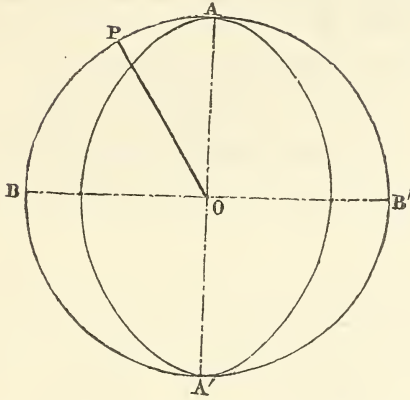
1^{re} Plaques circulaires.

POINTS FIXÉS A, B' (fig. 7)		POINTS FIXÉS A, A' (fig. 8).		RAPPORT DES SONS DE LA 5 ^e ET DE LA 8 ^e COLONNE.
EMPL.	COURBE COMPLEXE A L'OCTAVE. Longueur et rapport des axes.	Longueur et rapport des axes.	Note.	
Note.				
plus	non dessinée	$\frac{4650}{3155} = 1.474$	si ₂	1.25
	id.	1.49	ré ₃ dièze, un peu au-dessus	1.33
	$\frac{3900}{1630} = 2.393$	$\frac{4550}{2970} = 1.532$	do ₃	1.172
	$\frac{3765}{1670} = 2.254$	$\frac{5260}{3550} = 1.481$	sol ₂ dièze	1.28
au-	$\frac{3815}{1700} = 2.244$			1.25
dessous		$\frac{3635}{2440} = 1.489$	mi ₄	
dessous			ré ₃ mi ₃ fa ₃	1.23 1.29 1.25

2^{de} Plaques elliptiques.

POINTS FIXÉS B, B' (fig. 6).		POINT FIXÉ M, milieu du grand axe de la plaque sur l'axe horizontal.	
EMPL.	Rapport des axes de la courbe nodale à ceux de la plaque.	Longueur et rapport des axes.	Note.
Note.			
au-	2.655 : 1.628 = 1.63	4 : 3.88 = 1.03	sol ₃ dièze
	1.93 : 1.482 = 1.3		
	2.12 : 1.462 = 1.45		
	2.224 : 1.427 = 1.56		
	2.12 : 1.402 = 1.51		
dièze	2.13 : 1.4 = 1.52		
is en	1.96 : 1.36 = 1.44		
	2.03 : 1.27 = 1.6		

Fig. 8.



Disques elliptiques. J'ai d'abord expérimenté sur un disque dont les axes de figure étaient obliques sur la direction OA, le rapport de ces axes étant 1,46. La courbe, fermée, irrégulière, s'aplatit parallèlement à OB. Des deux droites qui joignent les quatre points d'inflexion, l'une est parallèle au grand axe de figure, l'autre à la direction OA, oblique par conséquent au petit axe de figure du disque.

Sur des plaques elliptiques dont les axes ont entre eux des rapports variables d'un disque à l'autre, et sont, l'un parallèle, l'autre perpendiculaire à OA, les figures acoustiques sont des ellipses, dont les axes sont entre eux dans un rapport naturellement plus fort que lorsqu'il s'agit des disques circulaires (en général voisin de 2) (fig. 6). Le rapport des axes de la courbe nodale est, en moyenne, à celui des axes de figure du disque comme 1,5 est à 1 (Voir le tableau synoptique joint à cette note).

Ces plaques avaient toutes leur plus grand axe parallèle à OA, à l'exception d'une seule. Sur celle-ci le rapport des axes de l'ellipse nodale n'a pas changé; en comparant ce rapport des axes de la courbe acoustique à celui des axes de figure, j'ai trouvé qu'ils étaient entre eux :: 1,497 : 1.

RÉSUMÉ. Ces figures fermées paraissent surtout tenir à des divisions analogues à celles que présentent les plaques homogènes vibrantes. Ce n'est donc pas seulement la position ou les rapports de leurs axes qu'il faut interroger, comme l'ont fait Savart et Angström, pour étudier la variation de l'élasticité sur les plaques où on les développe.

Ce qui me paraît fournir des renseignements beaucoup plus nets et plus précis, c'est le son qui se produit quand on ébranle tel ou tel

point de la plaque. Comme on a pu le voir, dans le gypse, de même que dans le cuivre strié, l'ardoise, le quartz, le son rendu par une plaque dont on ébranle le centre, est toujours plus grave quand on fixe les extrémités du diamètre parallèle à un axe de plus grande élasticité; le son monte à mesure que le point fixé se rapproche d'une des extrémités du diamètre perpendiculaire. Enfin, en rendant fixes les extrémités des diamètres parallèles aux axes de la courbe isothermique, on donne lieu à la formation de lignes nodales plus elliptiques et plus régulières, qu'en fixant des points situés à droite ou à gauche de ces directions.

VI. FELDSPATH ADULAIRE. *Disque circulaire* parallèle à la base p . Les deux axes d'élasticité sur cette base sont l'un parallèle et l'autre perpendiculaire à son intersection avec le plan de symétrie (plan g^1), qui est un plan de clivage facile. L'axe d'élasticité maximum semblerait devoir être parallèle à cette intersection (pg^1). Lorsqu'on ébranle un disque circulaire par le centre, on observe les faits suivants.

Appelons α l'angle de la droite qui joint les deux points maintenus fixes et de l'intersection pg^1 , nous aurons :

<i>Angle α.</i>	<i>Note correspondante.</i>
0°	3° sol dièze au-dessus du <i>la</i> normal (un peu au-dessus).
45°	3° ré dièze.
90°	3° do dièze.

Jusqu'ici le son rendu par une plaque était plus grave quand on fixait les extrémités d'un diamètre parallèle à un axe de plus grande élasticité; or, dans l'orthose, c'est en fixant les deux extrémités du diamètre perpendiculaire à l'intersection pg^1 , qu'on développe le son le plus grave; je crois pouvoir déduire de ce fait, que l'élasticité est plus grande perpendiculairement que parallèlement à la trace du plan de clivage g^1 sur la base p . C'est contraire, il est vrai, aux relations qu'on admet *a priori* entre les directions de clivage plus facile et de plus grande élasticité; mais *c'est parfaitement d'accord avec la position du grand axe de propagation de la chaleur.*

§ 3. CONCLUSIONS.

Dans le bois, l'ardoise, le cristal de roche, le gypse, matières qui ne se ressemblent, ni au point de vue de leur composition, ni à celui de la cause qui préside à l'arrangement symétrique de leurs particules élémentaires, il y a coïncidence parfaite entre les directions de plus faible cohésion normale, de plus grande résistance à la flexion, de plus grande élasticité, de plus facile propagation de la chaleur.

Dans le Feldspath orthose, Angström a trouvé une coïncidence

presque complète sur le plan de symétrie g^1 entre la direction où se propage le mieux la chaleur, et l'axe de plus grande élasticité. D'après mes expériences, sur la base des cristaux d'Adulaire, variété hyaline de l'orthose, il y a superposition de la direction d'élasticité maximum et de celle de plus grande conductibilité thermique.

Lorsque j'ai formulé cette règle que la chaleur se propage plus facilement dans les directions parallèles que dans la direction perpendiculaire aux plans de clivage des cristaux ou aux surfaces de schistosité des roches, j'avais reconnu *deux* exceptions bien nettes : l'une pour le *calcaire*, l'autre pour l'*orthose* (pour celui-ci, dans le plan p).

Or, précisément, le clivage g^1 de l'orthose, perpendiculaire et non pas parallèle au grand axe de propagation de la chaleur, est aussi en désaccord avec la position que les sons rendus par la plaque parallèle à la base me paraissent assigner aux axes d'élasticité sur cette base. En sorte que, si le clivage fait exception à ma règle, l'élasticité ne se comporte pas de même, et sur la face p de l'orthose, comme dans les autres cas complètement étudiés, l'élasticité est plus grande suivant le plus grand que suivant le plus petit axe de l'ellipsoïde des conductibilités thermiques.

Quant au calcaire, en exposant mes recherches sur cette matière, j'ai montré combien sa structure était anormale. J'ai entrepris des études spéciales à ce sujet, et j'espère pouvoir en rendre bientôt compte.

J'appellerai ensuite l'attention sur les changements que la forme du contour des plaques vibrantes de gypse apporte à l'orientation des axes de leurs figures acoustiques.

Il est aussi fort intéressant, au point de vue géologique, de voir que la chaleur peut révéler dans les roches, non plus seulement la position de leurs plans de clivage, mais encore celle de leurs directions de plus grande élasticité.

En dernière analyse, si les lignes nodales peuvent être utilisées pour la recherche de l'orientation des axes d'élasticité, les sons qui les accompagnent font surtout connaître la grandeur relative de ces axes. *La direction d'élasticité maximum sur un disque dont on ébranle le centre, est généralement : 1° perpendiculaire au diamètre dont il faut fixer les extrémités pour faire rendre au disque le son le plus aigu; 2° parallèle à la direction de plus facile propagation de la chaleur.*

Dans le quartz, en admettant les trois systèmes de Savart, je dirais : *La plus grande projection des maxima d'élasticité sur les axes de la courbe isothermique est parallèle au plus grand axe de cette courbe.*

Par conséquent, l'étude des courbes de conductibilité pour la cha-

leur, qui sont toujours faciles à obtenir, sera d'un grand secours pour celle des axes d'élasticité.

En terminant, je remercie M. Burckhardt, facteur de pianos, et son neveu, du concours qu'ils ont bien voulu me prêter pour la détermination des sons.

Le secrétaire analyse la note suivante :

*Sur les **Sables blancs** et les **Marnes lacustres** de **Rilly-la-Montagne**,
par M. A. **Eck**.*

Dans un travail que nous fîmes en commun, MM. le docteur Le-moine, Aumonier et moi, sur la montagne de Reims, pendant les années 1868 et 1869, nous fûmes conduits à considérer les Sables blancs de Rilly-la-Montagne comme occupant la partie supérieure des Sables de Bracheux ou de Châlons-sur-Vesle.

Nous allons exposer les principales coupes qui nous amenèrent à cette conclusion :

1^o Coupe prise à Ludes près de la tuilerie.

