BnF Gallica

Annales de chimie et de physique

Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

BnF Gallica

Annales de chimie et de physique. 1827.

1/ Les contenus accessibles sur le site Gallica sont pour la plupart des reproductions numériques d'oeuvres tombées dans le domaine public provenant des collections de la BnF. Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n°78-753 du 17 juillet 1978 :
- La réutilisation non commerciale de ces contenus est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur et notamment du maintien de la mention de source.
- La réutilisation commerciale de ces contenus est payante et fait l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service.

CLIQUER ICI POUR ACCÉDER AUX TARIFS ET À LA LICENCE

2/ Les contenus de Gallica sont la propriété de la BnF au sens de l'article L.2112-1 du code général de la propriété des personnes publiques.

3/ Quelques contenus sont soumis à un régime de réutilisation particulier. Il s'agit :

- des reproductions de documents protégés par un droit d'auteur appartenant à un tiers. Ces documents ne peuvent être réutilisés, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.
- des reproductions de documents conservés dans les bibliothèques ou autres institutions partenaires. Ceux-ci sont signalés par la mention Source gallica.BnF.fr / Bibliothèque municipale de ... (ou autre partenaire). L'utilisateur est invité à s'informer auprès de ces bibliothèques de leurs conditions de réutilisation.

4/ Gallica constitue une base de données, dont la BnF est le producteur, protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle.

5/ Les présentes conditions d'utilisation des contenus de Gallica sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

6/ L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur, notamment en matière de propriété intellectuelle. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment passible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

7/ Pour obtenir un document de Gallica en haute définition, contacter
reutilisationcommerciale@bnf.fr.

ANNALES

DE

CHIMIE ET DE PHYSIQUE,

Par MM. GAY-LUSSAC et ARAGO.

TOME TRENTE-SIXIÈME.

17202

A PARIS,

Chez CROCHARD, Libraire, cloître Saint-Benoît, n° 16,
près la rue des Mathurins.

1827.

MÉMOIRE

Sur la Compression des Liquides.

Par MM. COLLADON et STURM, de Genève.

(Ce Mémoire a remporté le prix proposé par l'Académie.)

INTRODUCTION.

Les travaux des géomètres, en élevant la physique au rang des sciences exactes, lui ont donné une rigueur et une précision qui leur manquaient auparavant. Ils ont fait sentir toute l'importance des recherches de mesures, qui seules peuvent fournir au calcul les données nécessaires pour la détermination des phénomènes. C'est seulement ainsi qu'on pourra parvenir à vérifier la théorie par l'expérience, et à reconnaître les véritables lois de la nature.

Les recherches sur la compressibilité des liquides nous présentent cet avantage qu'elles sont comparables entr'elles et susceptibles d'un haut degré de précision, moyennant des précautions nombreuses et de bons appareils. On n'a point à lutter ici contre une complication de causes qui, ne pouvant être isolées les unes des autres, rendent certains phénomènes si difficiles à étudier. Il ne faut pas croire cependant que ces recherches soient exemptes de difficultés. La nécessité de réunir à la fois dans le même appareil une extrême

sensibilité et une force considérable occasione de nombreux accidens qui quelquefois vous forcent à recommencer un long travail. Aussi réclamerons-nous d'avance l'indulgence pour les imperfections que l'on pourra remarquer dans quelques parties de ce Mémoire. Au reste, ces imperfections ne portent que sur le nombre et nullement sur l'exactitude des résultats. Persuadés que le principal mérite d'un travail de ce genre consiste surtout dans la précision minutieuse des expériences, nous avons préféré donner des résultats moins nombreux mais plus exacts, et nous nous sommes plus occupés de vérifier les résultats que de les multiplier. Le même motif justifiera la longueur des détails dans lesquels nous sommes entrés sur les précautions que nous avons dû prendre relativement à la disposition et à l'usage de chaque partie de notre appareil. Cette description complète nous a paru nécessaire pour qu'on pût apprécier le degré de confiance que peuvent mériter nos résultats. Quant au choix des liquides, nous avons toujours opéré sur des substances aussi pures et aussi concentrées qu'il est possible de les obtenir, et nous avons donné le plus d'importance à celles dont la composition paraît assujettie à des règles fixes, et dont les proportions chimiques nous sont le mieux connues.

La mesure de la compressibilité des liquides peut en effet devenir utile pour la solution de plusieurs questions de physique et de chimie moléculaire. Mais il faut n'accorder qu'une petite place aux substances qui, ne pouvant être reproduites identiquement, donnent, à chaque épreuve, des résultats différens. C'est ainsi que des

recherches sur la dilation des huiles pouvaient être de quelque utilité, lorsqu'il était question de les employer comme liquides thermométriques; mais envisagées sous un point de vue général, ces mesures ne nous offrent qu'un intérêt très-secondaire.

Sans doute pour quelques-uns des liquides sur lesquels nous avons opéré, l'identité parfaite de composition est une chose impossible à obtenir; mais les différences qu'ils peuvent encore présenter dans leur plus grand degré de pureté ne paraissent pas pouvoir changer notablement leur compressibilité.

Quant à la seconde partie de la question concernant l'élévation de température due à la compression des liquides, la presque nullité des effets observés ne nous ayant pas permis de les mesurer, nous avons dû nous borner à constater qu'il y a des liquides pour lesquels la compression est accompagnée d'un dégagement de chaleur sensible. Nous avons également cherché à constater si la contraction résultant d'un accroissement de pression n'aurait point une influence sensible sur la conductibilité électrique; quoique cette recherche n'eût point été indiquée dans le Programme, elle nous a paru mériter d'être mentionnée comme ayant un rapport direct avec le sujet du concours.

La détermination de la vitesse du son dans les liquides est l'application la plus importante de la mesure de leur compressibilité. La formule de Newton pour la vitesse du son dans l'air ayant été étendue par M. Laplace aux corps solides et liquides dont on peut mesurer la compression, la vérification de cette formule offrait un beau sujet d'expériences, et devait servir en même temps

à constater si cette contraction était accompagnée d'une élévation sensible de température. Nous avons entrepris cette vérification en mesurant directement la vitesse du son dans l'eau, et en prenant en même temps la mesure exacte de la compressibilité de l'eau dans laquelle l'expérience avait été faite. L'accord de la vitesse que nous avions observée avec celle que l'on déduit de la formule, indépendamment de tout accroissement de chaleur, nous a confirmé la vérité de nos résultats d'expérience relativement au peu de chaleur dégagée.

Ce Mémoire sera divisé en quatre paragraphes. Dans le premier, nous donnerons les expériences relatives à la mesure de la compressibilité des liquides; le second contiendra celles qui se rapportent au dégagement du calorique dû à la compression; dans le troisième, nous rechercherons si la pression influe sur la conductibilité électrique de ces corps; enfin, dans la quatrième, nous donnerons la mesure de la vitesse du son dans l'eau douce, telle que nous l'avons observée, et nous la comparerons avec la théorie.

§ Ier.

Les premières recherches des physiciens sur la compressibilité des liquides datent de la fin du 17e siècle. A cette époque, les découvertes de Galilée et de Torricelli avaient attiré l'attention des savans sur les recherches de physique expérimentale. Mariotte avait déjà reconnu la loi de la compressibilité des gaz. Les académiciens d'El Cimento s'étaient réunis pour travailler en commun à une suite d'expériences sur les propriétés des

corps et des fluides impondérables. Jugeant avec raison que l'eau devait être compressible, puisqu'elle avait la faculté de transmettre les sons, ils firent de nombreuses tentatives pour rendre sensible sa diminution de volume. A cet effet, ils firent souffler une boule à l'extrémité d'un long tube de verre et la remplirent d'eau. Le liquide s'élevait à une petite hauteur dans le tube qui avait une échelle graduée dans cette partie. Recourbant ensuite le tube capillaire, ils soudèrent un réservoir à son autre extrémité, et le remplirent également d'eau, puis ils fermèrent complètement l'appareil. Après avoir placé la boule dans de la glace fondante, ils échauffèrent l'eau du réservoir. Cette eau en se dilatant, remplissait le tube, diminuait le volume de l'air qui s'y trouvait contenu, et produisait une compression sur le liquide renfermé dans la boule.

Il paraît quils eurent ainsi des compressions assez fortes, puisqu'ils furent obligés de remplacer la boule et le réservoir de verre par d'autres en métal pour éviter leur rupture. Ils ne purent cependant observer aucune diminution sensible de volume : résultat qui paraîtrait inexplicable si l'on ne remarquait que la distillation produite par la différence de température du réservoir et de la boule augmentait la quantité du liquide dans celle-ci à mesure que la compression devenait elle-même plus grande. Si, au lieu d'air, ils eussent employé une colonne d'huile ou d'une substance analogue pour transmettre la compression, il est hors de doute qu'ils auraient reconnu la compressibilité de l'eau.

Une autre expérience qu'ils firent avec un appareil semblable à celui de Mariotte et en employant une co-

lonne de mercure de vingt-quatre pieds de hauteur comme moyen de compression, ne leur ayant pas donné de résultat plus positif, ils remplirent entièrement d'eau une sphère creuse d'argent, et après l'avoir fermée hermétiquement, ils la soumirent à une pression violente.

Le volume de la sphère diminuant à mesure qu'elle se déformait, ils virent l'eau suinter à travers les pores de l'enveloppe métallique, et paraître en gouttes à sa surface extérieure.

Ils supposèrent, d'après ces expériences, non pas que l'eau fût incompressible, mais que sa compressibilité ne pouvait être rendue sensible par la voie de l'expérience, et cette opinion fut généralement adoptée.

En 1761, un physicien exact, John Canton, reprit cette question importante. Ayant d'abord reconnu la compressibilité de l'eau, il entreprit des expériences fort précises pour la mesurer.

Le travail de Canton ne se borna pas à l'eau seulement. Dans un second Memoire qu'il présenta bientôt après, il fit voir que plusieurs autres liquides avaient, comme l'eau, la propriété d'être compressibles. Sa méthode d'expérience, qui depuis a été perfectionnée par M. OErsted, consiste à comprimer les liquides dans des appareils semblables à des thermomètres, formés d'une boule d'une grande capacité, surmontée d'un tuyau capillaire ouvert par le haut. Pour déterminer les volumes relatifs de la boule et du tube capillaire, on les remplit séparément de mercure et l'on en prend les poids. Connaissant ainsi le rapport du volume de la boule à celui du tube cylindrique capillaire, on marque sur celui-ci

des degrés égaux ; chaque portion du tube correspondant à un de ces degrés est alors une très-petite fraction connue du volume de la boule. Si l'on comprime le liquide contenu dans ce tube capillaire, la compression se communiquera à toute la masse du liquide contenu dans l'appareil ; et s'il est réellement susceptible de contraction, on verra diminuer la hauteur de la colonne de ce liquide contenu dans le tube, et l'on pourra mesurer cette diminution de volume à l'aide de la graduation marquée sur ce tube ; mais si la compression ne s'exerçait que dans l'intérieur de cet appareil, elle dilaterait la boule et augmenterait sa capacité. Pour prévenir cet inconvénient, Canton plaçait son appareil sous un récipient, dans lequel il augmentait ou diminuait la pression atmosphérique, en ayant soin de plonger la boule dans l'eau pour éviter les changemens de température qui accompagnent la compression de l'air. L'extrémité du tuyau capillaire restant ouverte, la boule se trouvait alors également pressée en dedans et en dehors, et par conséquent ne pouvait changer de volume ; de sorte que la dépression du liquide dans le tube donnait la mesure exacte de sa condensation.

Quoique ces expériences eussent été faites avec soin, on n'y ajoutait point toute la foi qu'elles méritaient, lorsque les expériences célèbres de M. Perkins et celles encore plus exactes de M. OErsted rappelèrent l'attention des physiciens sur ce sujet intéressant. Les expériences du premier se sont étendues jusqu'à des compressions équivalentes au poids de plusieurs centaines d'atmosphères ; mais ses résultats peuvent avoir été influencés par deux causes d'erreur, la pénétration des vases mé-

talliques, dont il se servait, par l'eau qui y était renfermée, et la difficulté d'estimer au juste par sa méthode le nombre des atmosphères. Aussi les expériences de M. OErsted paraissent mériter plus de confiance, à raison des précautions qu'il a prises ; mais cet habile physicien n'a opéré que sur l'eau à une même température, sans excéder une compression de six atmosphères. Il restait à essayer des compressions plus fortes, non-seulement sur l'eau, mais encore sur plusieurs autres liquides de différentes densités, à observer pour chacun d'eux l'influence de la température sur la compressibilité, et à reconnaître s'il y a de la chaleur dégagée par leur compression. Les expériences de Canton n'ayant pas été faites au-delà de trois atmosphères, n'étaient pas assez étendues pour être à l'abri des erreurs d'observation. La loi importante de la condensation des liquides proportionnelle au nombre des atmosphères comprimantes, demandait surtout à être vérifiée sur des liquides plus compressibles que l'eau, et avec des forces supérieures à celles que Canton et OErsted avaient employées. Il fallait encore avoir égard à la petite contraction qu'éprouve l'enveloppe de verre dans laquelle le liquide est comprimé.

MÉTHODE D'EXPÉRIENCE.

L'appareil dont nous nous sommes servis pour déterminer la compressibilité des liquides se compose de deux parties distinctes, dont l'une mesure la diminution de volume du liquide soumis à une certaine pression, tandis que l'autre détermine la grandeur de cette

compression. C'est en effet de l'observation exacte et simultanée de ces deux quantités que dépend toute la précision des résultats. Pour que chacun puisse apprécier le degré de confiance que méritent nos mesures, nous croyons devoir donner d'abord la description détaillée des parties de notre appareil, et indiquer en même temps les causes d'erreur qui pouvaient influer sur les résultats.

La méthode de Canton, perfectionnée par OErsted, est celle que nous avons adoptée pour nos expériences de compression. Elle consiste, ainsi que nous l'avons indiqué, à renfermer les liquides dans des instrumens que nous désignons, pour abréger, sous le nom de *piézomètres*, et qui sont semblables pour la forme à de gros thermomètres ouverts par le haut. Ils ont été construits de la manière suivante. Après avoir choisi sur un très-grand nombre de tubes capillaires longs d'environ nn mètre, ceux qui pouvaient être regardés comme exactement cylindriques sur une longueur de deux ou trois décimètres, nous les avons divisés, au moyen d'une colonne mobile de mercure, en trois ou quatre parties égales en volume, de manière qu'une de ces divisions fût comprise dans la partie cylindrique.

Nous avons ensuite soudé à l'une de leurs extrémités un long réservoir cylindrique *r s* terminé en *s* par une pointe fine et ouvert en cet endroit. Nous avons déterminé par de petites pesées très-exactes le rapport du volume du réservoir à celui de la division cylindrique du tube capillaire. Pour cela, nous remplissions d'abord le réservoir de mercure jusqu'à la première divi-

sion du tube, puis, vidant ce mercure dans une petite coupe, nous en prenions le poids ; c'est à faciliter cette opération que servait la pointe ouverte *s* du réservoir.

Pour déterminer le volume de la division cylindrique, on introduisait d'abord dans le tube capillaire une colonne de mercure d'une longueur égale à celle de quatre divisions égales en volume. On pesait ensuite ce mercure dans une balance très-sensible. Le quart de son poids faisait connaître avec beaucoup de précision le volume de la portion cylindrique, et par conséquent on avait aussi le rapport de ce volume à celui du réservoir.

On fixait ensuite une échelle graduée en demi-millimètres à cette division ; elle se trouvait ainsi partagée en un très-grand nombre de petites parties égales en capacité, et l'on connaissait de plus le rapport de leur volume à celui du réservoir.

On remplissait le piézomètre du liquide à comprimer jusqu'à la première division cylindrique inclusivement, et l'on fermait l'extrémité *s* du réservoir qui avait servi à le remplir.

Il semble qu'il y aurait un grand avantage à augmenter beaucoup la capacité du réservoir du piézomètre ; mais il est un terme au-delà duquel la contraction totale du liquide soumis à une certaine compression dépasserait la longueur de l'échelle et celle de la portion cylindrique du tube capillaire. Il est très-rare de trouver des tubes qui puissent être considérés comme cylindriques sur une longueur de plus de 4 décimètres.

Canton et M. OErsted se sont servis d'un index de

mercure pour suivre les mouvemens de la colonne de liquide. Nous avons reconnu que ce moyen entraîne de graves inconvéniens, et nous l'avons supprimé tout-à-fait, nous contentant d'observer l'extrémité même du liquide après avoir mis un petit tube plein d'air à l'extrémité du piézomètre, de manière que le liquide qu'il renfermait ne fût jamais atteint par celui du dehors. Pour les liquides tels que l'acide sulfurique et nitrique concentrés, qui attirent l'humidité, nous avons introduit dans la colonne capillaire un petit index de carbure de soufre. Ce changement a suffi pour donner à nos expériences une régularité que nous n'avions pu obtenir auparavant. On en concevra aisément la raison, si l'on fait attention à la difficulté qu'éprouve le mercure à se mouvoir dans les tubes capillaires; en effet, si l'on introduit une goutte de mercure dans un tube capillaire de verre fixé horizontalement, une différence de pression d'un ou de deux centimètres de mercure sera souvent insuffisante pour la faire mouvoir, ou bien son mouvement se fera par secousses au lieu d'être uniforme et continu.

Quand on emploie un index de mercure, il y a donc presque toujours une différence entre la contraction observée et celle qu'éprouve le liquide du piézomètre. De plus, comme la pression intérieure n'est plus égale à la pression extérieure, les parois se déforment; et quelque faible que soit cette influence, elle suffit pour altérer les résultats d'expériences aussi délicates. Il est d'ailleurs des liquides qui divisent cet index en petits globules; et dans les compressions rapides, sa vitesse acquise lui fait dépasser le point qu'il devrait atteindre.

Il ne faut pas croire enfin que cet index empêche le liquide de s'attacher aux parois du tube.

Le piézomètre ainsi préparé, se place dans un gros cylindre de verre CC, fig. 2, long de 12 décimètres et fort épais, fermé à un bout, muni à l'autre d'une virole en cuivre, à laquelle se visse une pompe de compression. A côté de ce piézomètre est un thermomètre. L'extrémité fermée C du cylindre de verre qui contenait le réservoir et la boule du thermomètre, était renfermée dans une caisse métallique, ayant 50 décimètres cubes et pleine d'eau. Nous avons préféré l'eau à toute autre substance à cause de sa grande chaleur spécifique. Pour les expériences faites à des températures un peu élevées, nous placions cette première caisse dans une seconde plus grande, et nous remplissions de sable l'intervalle de ces deux caisses. Cet appareil présentait ainsi une masse assez considérable pour maintenir le cylindre à une température fixe pendant tout le temps nécessaire aux expériences. Le cylindre pouvait à volonté s'abaisser ou s'élever un peu du côté de la caisse, selon qu'on voulait opérer à une température inférieure ou supérieure à celle de la chambre.

Outre la variation de température, il est encore trois causes qui pouvaient altérer les indications du piézomètre, savoir, l'adhérence du liquide aux parois, la diminution de pression due au frottement de la colonne capillaire, enfin la petite quantité d'air qui reste adhérent aux parois du verre.

On remédie aux deux premières en comparant les résultats donnés par des compressions croissantes et par

des compressions décroissantes, et à la dernière en faisant bouillir le liquide dans le piézomètre et employant des compressions élevées.

1re Expérience. *Loi de la contraction des liquides par des compressions croissantes.*

Avant d'entrer dans le détail des expériences comparatives sur les différens liquides, nous avons jugé important de déterminer par une expérience préliminaire faite avec un très-grand soin, si les liquides sont assujettis à une loi générale de compression, au moyen de laquelle on puisse prévoir les résultats de l'expérience, et conclure de la mesure de la condensation obervée pour une pression d'un petit nombre d'atmosphères, celle qui serait produite par une pression quelconque.

Cette récherche exigeant beaucoup de précision dans la mesure de la pression, et surtout dans les compressions élevées, nous avons eu recours pour cette mesure à l'élévation du mercure dans un tube barométrique, formé de plusieurs parties soudées ensemble, et formant une longueur totale de 12 mètres et 3 décim. L'extrémité inférieure de cet assemblage de tubes pénétrait dans une caisse de tôle ayant un décimètre de côté et pleine de mercure. Cette caisse communiquait directement avec le cylindre contenant le piézomètre au moyen d'un tube métallique. Le piston de notre pompe de compression ayant 27 millimètres de diamètre et 625 millim. de cours, nous suffisait pour faire monter le mercure jusqu'au sommet de cette colonne, dont les tubes avaient 5 millim. de diamètre. On a eu soin de

corriger les résultats de l'abaissement du mercure dans la caisse de tôle, d'après le rapport de son diamètre à celui du tube. Le piézomètre dont nous nous sommes servis pour cette expérience, avait un tube parfaitement cylindrique sur une longueur de 47 centimètres. L'échelle qui y était adaptée, divisée en demi-millimètres, était assez nette pour qu'on pût en prendre les quarts.

L'expérience devant durer pendant un temps assez long, nous avons opéré à la température de o°, afin d'avoir une température constante pendant toute l'expérience.

Voici les résultats que nous avons obtenus sur l'eau distillée et privée d'air par l'ébullition :

Eau distillée à o°.

Nombre des atmosphères.	Demi-millimètres sur l'échelle.	
	Compressions croissantes.	Décroissantes en retour.
1.	42	42
2.	112	115
3.	179	
4.	248	250
5.	316	319
6.	381	384
7.	447	
8.	510	714
9.	576	
10.	640	645
11.	704	
12.	771	774
13.	836	
14.	900	902
15.	967	

Les irrégularités de ces nombres nous ont paru tenir au frottement de la colonne liquide dans le tube capillaire, ainsi que le prouvent les expériences de retour, qui ont toujours donné des contractions un peu plus fortes que celles qui ont été produites par des compressions croissantes. Il est impossible, malgré toutes ces irrégularités, de ne pas reconnaître que la compressibilité est toujours la même pour chaque accroissement d'une atmosphère. Les deux premiers nombres semblent, il est vrai, donner une contraction un peu plus forte; mais cette différence peut provenir d'une très-petite quantité d'air restée adhérente aux parois du piézomètre.

Cette expérience nous fit d'abord présumer que les liquides devaient suivre dans leurs contractions une loi analogue à celle qu'on a remarquée pour les corps solides qui s'allongent de quantités égales pour des accroissemens égaux de traction. Mais dans une expérience semblable faite sur l'éther sulfurique, il nous fut impossible de méconnaître une diminution très-sensible de contraction pour des atmosphères croissantes. Les nombres obtenus pour l'éther sulfurique s'étant trouvés les mêmes que ceux auxquels nous sommes parvenus par la méthode qui nous a servi dans nos expériences comparatives, nous en renverrons le tableau ainsi que la discussion à l'article de l'alcool et de l'éther sulfurique, afin de rapprocher ces nombres de ceux qui ont été trouvés pour les autres liquides.

Mesure de la Contraction du verre.

Nous avons dit que les liquides dont nous voulions mesurer la compressibilité, étaient contenus dans des appareils en verre ouverts à une extrémité, de manière que la compression se communiquait également à l'intérieur et à l'extérieur, et que tous les points de sa surface supportaient des pressions égales. Cette pression devait par conséquent contracter cette enveloppe et diminuer le volume du réservoir.

Cette conclusion suppose qu'un corps plongé dans un liquide soumis à une certaine pression, subit sur chacune de ses dimensions une contraction proportionelle à leur grandeur, et diminue de volume en conservant toujours une forme exactement semblable à sa forme primitive. Quoique ce principe n'ait pas été démontré par expérience, il n'en est pas moins certain, et l'on peut s'en convaincre en divisant par la pensée le corps en une infinité de petits cubes qui supportent tous une même pression. Soit en effet un corps solide, que pour plus de simplicité nous supposerons rectangulaire, divisé en tranches infiniment minces, perpendiculaires à sa longueur. Les deux tranches extrêmes se trouvant pressées en sens contraires, se rapprochent l'une de l'autre, et ne peuvent s'arrêter qu'autant que la réaction des secondes tranches sur ces premières est précisément égale à la pression exercée sur leurs faces extrêmes. Or, en vertu du principe d'égalité de l'action et de la réaction, les secondes tranches supportent sur leur face contiguë aux premières tranches une pression égale à celle que supportait celles-ci. Cet effet se propage ainsi

jnsqu'au centre, de sorte que chaque tranche supporte une pression égale à celle qu'éprouvent les deux tranches extrêmes.

Le même raisonnement s'appliquant aux autres dimensions, on voit que le corps se trouve divisé en un grand nombre de petits cubes qui supporteront tous une pression égale sur chacune de leurs faces, et que, par conséquent, le corps comprimé conservera une forme semblable à celle qu'il avait avant la compression.

Lors donc qu'on observe l'effet de la compression sur un liquide contenu dans une enveloppe de verre, la contraction observée sur ce liquide n'est que la différence des diminutions de volume du liquide et d'un volume de verre égal au sien. Par conséquent, pour avoir la compressibilité absolue du liquide, il faut connaître exactement celle du verre et l'ajouter à la contraction observée.

La mesure des allongemens des solides par la traction des poids, est sujette à de grandes difficultés expérimentales ; cette mesure ne peut pas être multipliée aussi facilement que pour les liquides ; on ne peut observer que leur allongement ou raccourcissement linéaire, tandis que, pour les liquides, on observe une contraction cubique. Pour les solides, il faut donc mesurer des allongemens d'une extrême petitesse, et éviter tout changement de température, car, dans ces corps, il faut une pression moyenne de plus de 10 atmosphères pour opérer une contraction égale à celle que produirait un abaissement de température d'un seul degré. Voici la disposition que nous avons adoptée pour cette mesure. Nous avons pris une baguette

de verre parfaitement droite, longue d'un peu plus d'un mètre, et nous l'avons suspendue solidement par une de ses extrémités. A l'autre bout était attaché le fléau d'une balance qui recevait les poids destinés à produire la traction.

Un peu au-dessus de cette dernière extrémité était fixée une pointe très-fine destinée à glisser sur une division micrométrique. Afin que cette division fût toujours à une distance rigoureusement la même de l'extrémité supérieure, nous avons introduit la baguette dans un tube de verre, et nous avons soudé celui-ci à la partie supérieure de la baguette. Puis à l'extrémité inférieure de ce tube, nous avons fixé avec de la cire une petite plaque de verre, sur laquelle était un millimètre divisé en 100 parties. C'est sur cette division que glissait la pointe fixe de la baguette de verre, à mesure que cette baguette s'allongeait par la traction des poids suspendus, et nous observions, au moyen d'un fort microscope, la quantité de cet allongement. Comme la baguette et le tube étaient indépendans l'un de l'autre dans toute leur longueur à partir du point où ils étaient soudés, l'allongement de la baguette de verre ne pouvait altérer la longueur du tube. La division micrométrique se trouvait donc toujours à une distance rigoureusement la même du point de soudure. C'est cette distance qui était exactement de la longueur d'un mètre. Un écran de bois séparait l'observateur du reste de l'appareil, et prévenait l'effet du changement de température. La difficulté d'observer à la fois avec un grossissement très-fort les divisions du millimètre et l'extrémité de la pointe laissant quelque incertitude dans les résultats, nous avons

repris cette mesure en multipliant l'allongement par le moyen d'un double levier à bras très-inégaux. (*V*. la planche, fig. 2.) Ces deux leviers reposaient sur deux petites lames tranchantes, soudées au tube. Deux petits appendices latéraux, fixés à la baguette, appuyaient sur les extrémités de ces leviers, tandis que l'autre extrémité, étirée en pointe très-fine, se mouvait sur une division verticale où on l'observait à la loupe. La distance du point d'appui à l'extrémité de cette pointe étant de 4 décimètres, tandis que celle du point d'appui au point de contact du levier et de la baguette n'était que d'environ 5 millimètres, l'allongement de la baguette produisait un mouvement quatre-vingts fois plus grand à l'extrémité du levier. Nous avons mis un double levier dans deux directions opposées, pour prendre la moyenne de leurs indications, parce qu'il arrivait, dans quelques cas, que la baguette s'approchait d'un côté du tube par l'effet de la traction. Cette variation étant fort petite, la double observation corrigeait suffisamment l'erreur qui en pouvait résulter.

La moyenne des résultats obtenus par ces deux méthodes nous a donné un allongement linéaire d'environ $\frac{6}{100}$ de millimètre, pour un poids de 8 kilogrammes. Or, la section moyenne de la baguette étant de 13,3 millimètres carrés, il fallait, pour produire une traction équivalente à une atmosphère, un poids égal à celui d'un cylindre de mercure haut de 760 millimètres et ayant une base de 13,3 millim. carrés. Le poids d'un pareil cylindre est de 138,3 grammes. Par conséquent, les 8 kilog. produisaient une traction équivalente à 57 atmosphères. En divisant l'allongement

observé, savoir $\frac{6}{100}$ de millim. par 57, on trouve que pour une atmosphère, l'allongement de la baguette de verre d'un mètre de longueur est de 11 dix millionièmes ; une pression égale raccourcirait cette baguette de la même quantité. Si donc une masse de verre se trouve soumise à une pression d'une atmosphère, chacune de ses dimensions sera diminuée de ses 11 dix millionièmes ; et la diminution du volume, qui est triple de la contraction linéaire, sera de 33 dix millionièmes.

La compressibilité du verre ayant été ainsi déterminée, nous avons pu continuer nos recherches sur celle des liquides. La disposition que nous avions d'abord employée pour mesurer le nombre des atmosphères, était sujette à beaucoup de difficultés. Il arrivait de fréquens accidens occasionés par l'élévation du mercure dans cette longue suite de tubes de verre soudés les uns aux autres ; la nécessité de s'élever à la hauteur du mercure pour la mesurer, prolongeait la durée de l'expérience ; il était surtout difficile de maintenir à une température constante cette colonne de mercure placée dans un lieu exposé aux variations de température de l'air atmosphérique. La facilité doit être comptée pour beaucoup dans le choix des moyens d'expérience : en permettant de répéter plus souvent les observations, elle donne la sécurité nécessaire pour des expériences délicates.

Ayant déterminé avec soin la compressibitité de l'eau et de l'éther sulfurique, nous avions surtout en vue de faire des expériences comparables sur les différens liquides. Dans cette recherche, nous nous sommes servis d'un manomètre à air, pour mesurer la force de com-

pression ; mais nous l'avons disposé de manière que ses indications fussent toujours comparables et aussi identiques que possible.

Dans quelques expériences préliminaires, nous avions placé ce manomètre dans le cylindre horizontal. De cette manière, la compression indiquée par le manomètre était exactement égale à celle que supportait le liquide du piézomètre. Mais cette méthode est impraticable dans une longue suite d'expériences. L'intérieur du tube se mouille bientôt par l'effet de la compression, et alors son index de mercure se divise en plusieurs fragmens. De plus, comme le cylindre doit être porté à des températures très-diverses, mais seulement dans une partie de sa longueur, le manomètre aurait varié sans cesse. Il aurait fallu le raccourcir beaucoup, et alors ce moyen n'aurait plus été exact.

Pour éviter ces inconvéniens, nous avons placé le manomètre dans un second cylindre de verre à part (1), situé verticalement et communiquant au premier par un canon de fer recourbé. (*V*. la planche, fig. 1.)

La compression se transmettait ainsi à l'eau contenue dans le cylindre vertical, au mercure qui en remplissait

---

(1) Le manomètre renfermé dans ce cylindre vertical était composé de trois parties de diamètres très-différens, de manière que, même dans les hautes pressions, les atmosphères consécutives différaient de plusieurs degrés. Ainsi, par exemple, la distance des deux points, correspondans sur l'échelle à 18 et à 24 atmosphères, était divisée en 204 parties, et chacune de celles-ci étant plus grande que 2 millimètres, on pouvait en prendre facilement le quart.

la partie inférieure et sur la surface duquel reposait notre manomètre. Mais si l'on se fût borné à observer les indications de celui-ci, les pressions observées n'auraient point correspondu à celles supportées par le liquide du piézomètre, à cause de la différence de niveau du tube capillaire de ce piézomètre et de la surface du mercure que remplissait en partie le cylindre vertical. Il est vrai qu'on aurait pu en tenir compte en mesurant exactement cette différence de niveau; mais comme cette observation peut elle-même être sujette à erreur, nous avons préféré déterminer directement par l'expérience, chaque hauteur du mercure correspondante à un accroissement de pression d'un nombre déterminé d'atmosphères pour le liquide contenu dans le piézomètre.

Pour cela, nous avons mis à la place de ce piézomètre et dans le cylindre horizontal, un autre manomètre composé de trois tubes soudés et recourbés, de manière que sa longueur totale était d'environ 3 mètres. Outre cela, le dernier de ces tubes avait un diamètre moitié, en sorte que sa capacité n'était que $\frac{1}{8}$ du volume total. Après l'avoir divisé avec un soin extrême en parties proportionnelles, nous nous en sommes servis pour la graduation du manomètre vertical. Le piézomètre se trouvant ensuite dans la même position que le tube gradué, il est évident qu'en ramenant le manomètre vertical aux mêmes points, le liquide du piézomètre est comprimé par un nombre connu d'atmosphères. Cette manière directe de les mesurer avait un autre avantage, celui d'indiquer si le frottement du liquide ou quelque autre cause pouvait influer sur les compressions.

Il n'y avait plus que les variations de température de l'air contenu dans ce manomètre qui pussent avoir une influence sensible sur ses indications, et ces variations nous étaient annoncées par deux petits thermomètres logés dans le cylindre vertical. On avait toujours soin d'en tenir compte. Toutes nos expériences ont été ramenées à une température uniforme. On voit que par ce moyen nous avons pu trouver des résultats parfaitement comparables pour les différens liquides, et que, même en supposant une légère erreur dans la graduation du manomètre, cette erreur, se trouvant la même pour tous les liquides, devenait tout-à-fait sans conséquence dans la comparaison des résultats.

On pourrait croire que les variations de température causées par les changemens de volume du gaz du manomètre, devraient altérer les indications de celui-ci; mais il faut remarquer que ce manomètre se trouvant amplement environné d'eau, ses parois absorbent et transmettent immédiatement la petite quantité de chaleur dégagée par la compression, d'autant mieux que nos compressions n'étaient jamais instantanées, mais toujours assez lentes pour éviter les ruptures de la colonne du liquide dans le tube capillaire.

L'expérience nous a convaincus du peu d'influence de cette élévation de température du gaz. En effet, en faisant monter rapidement le manomètre à une certaine hauteur déterminée, en l'y maintenant exactement, et observant en même temps avec soin la contraction correspondante du liquide, si le ressort de l'air du manomètre avait éprouvé une variation sensible par un accroissement de température, nous aurions vu diminuer

la contraction du liquide, puisque l'effort nécessaire pour maintenir le mercure du manomètre à la même hauteur, aurait été moindre à mesure que l'équilibre de température se serait rétabli. Or, nous avons toujours observé un effet précisément contraire, c'est-à-dire que le liquide exige toujours un certain temps pour parvenir à son vrai point de contraction.

La condition la plus difficile à remplir dans les expériences de compressibilité se rapporte, comme nous l'avons dit, aux variations de température. En effet, pour le plus grand nombre des liquides, des compressions de 10 à 15 atmosphères ne produisent qu'une contraction à peine équivalente à celle produite par un abaissement de température d'un degré.

C'est pour avoir un tableau des compressiblités des liquides indépendant de ces variations, que nous avons pris tous nos liquides à la température de la glace fondante. Ce terme est fixe, toujours le même, et le plus facile à obtenir.

Après avoir introduit et ajusté le piézomètre dans le tube, on commence à faire une série de compressions croissantes depuis 1 jusqu'à 24 atmosphères; après quoi l'on fait une série semblable de compressions décroissantes. On trouve par ce moyen l'influence du frottement de la colonne de liquide contre les parois du tube; cet effet, sans être considérable, est cependant sensible, surtout pour des tubes d'un très-petit diamètre.

Voici le tableau des résultats obtenus pour le mercure, l'eau, l'alcool, l'éther sulfurique, le carbure de soufre, l'éther nitrique, l'acide sulfurique, l'acide nitrique, l'eau chargée d'ammoniaque, l'acide acétique,

l'éther acétique, l'essence de thérébentine, l'alcool et différentes espèces d'eaux :

Mercure à 0°.

Atmosphères.	Compressions.
1	242,5
3	246
6	250,8
9	254
12	257
15	260
18	263
21	266
24	269,2
30	275

Retour.

24	270
20	266
14	259,6
9	255
2	245,2
1 $\frac{1}{2}$	244

Expériences sur le Mercure à 0°.

La compressibilité du mercure devait être observée avec soin, à cause de sa grande densité. Nos expériences, poussées jusqu'à 30 atmosphères, nous ont donné des résultats très-réguliers, excepté pour les 4 ou 5 premières atmosphères. Le manomètre qui a servi pour cette série d'expériences avait été fermé (1); le baromètre étant à 0^m, 706 et le thermomètre à 9° c.

(1) Pour cette expérience, le manomètre était un tube divisé placé dans le cylindre horizontal, cette expérience

Atmosphères	Degrés de l'échelle.
1	242,5
2	244,8
3	246
4	248
5	249,6
6	250,8
8	253
10	255,1
12	257
14	259
16	260,9
18	263
20	265
22	267
24	269,1
30	275

Retour.

24	270
20	265,9
14	259,7
10	256
2	245,2

A partir de la 8e atmosphère, on a exactement 1 degré pour contraction moyenne du mercure, par chaque atmosphère de 0^{m},706 à la température de 9° c. Le volume primitif contenant 622,440 de ces degrés, la

---

ayant été faite avant que ce manomètre eût été placé dans un cylindre vertical et séparé.

contraction est donc $\frac{1}{622440}$ du volume primitif. On en conclut que la contraction pour l'atmosphère de $0^m,76$ est égale à 1,73 millionièmes. Il n'y a point de correction à faire quant à la température du manomètre, qui était alors de 9°. En ajoutant 3,3 pour le verre, on trouve 5,03 pour la contraction réelle du mercure. Mais il est à remarquer que ces premières atmosphères même jusqu'à 7 donnent un résultat plus fort. La compressibilité est presque double pour les 3 premières atmosphères. La constance des résultats suivans poussés jusqu'à 30 atmosphères, ne permet pas d'attribuer cette différence à une diminution de compressibilité du mercure. Il est une autre cause plus probable, c'est la difficulté de purger complètement d'air une quantité de mercure aussi considérable que celle qui est contenue dans le piézomètre. Ces bulles, vu la loi de condensation des gaz, doivent influer sur les résultats de nos premières compressions; mais bientôt après leur volume est assez diminué pour que les résultats n'en soient plus altérés.

Les Expériences de Canton portées jusqu'à 3 atmosphères, lui ont donné 3 millionièmes pour la compressibilité du mercure. La même cause que nous venons de signaler avait influencé ses résultats. Nos premières compressions jusqu'à 4 ou 5 atmosphères, donnent environ 3 millionièmes. C'est une preuve manifeste de la nécessité d'employer des moyens de compression plus puissans que ceux dont ce physicien s'était servi.

Expériences sur l'Eau distillée et privée d'air par l'ébullition, à 0°. Volume primitif = 237,300.

Therm. du manom. à 10°

Atmosph. de 0^m,7466.	Degrés de l'échelle.	Contractions pour 1 atmosph.
1	211	12
2	223	11 1/8
4	245 1/4	11 3/8
6	268	11 1/10
8	290 1/5	12
10	214 1/4	11 1/8
12	335 1/2	11 1/4
16	380	11 1/4
18	403 1/3	11 1/2
20	425,5	11 1/5
24	470,5	11 1/4

La contraction moyenne est égale à 11 1/4. En la réduisant en millionièmes pour une atmosphère de 0^m 76 de mercure à 10°, on obtient 48 millionièmes.

La contraction absolue = 51, 3 millionièmes.

Expériences sur l'Eau non privée d'air.

Presque toutes les expériences faites jusqu'ici sur la compressibilité de l'eau ont été faites sur de l'eau privée d'air par l'ébullition. Mais l'eau pouvant à la température et à la pression ordinaire dissoudre plus de la 25e partie de son volume d'air atmosphérique, il importait de savoir qu'elle influence pouvait en résulter sur la compressibilité. Cette recherche était nécessaire

pour le calcul de la vitesse du son dans l'eau. Mais, pour cette détermination, il fallait remplir un piézomètre d'eau sans y faire de vide et sans élever la température de cette eau, et chasser cependant la couche d'air adhérente aux parois du piézomètre. Voici comment nous y sommes parvenus.

Nous avons dit que les réservoirs de nos piézomètres étaient terminés en pointe effilée. Cette pointe étant ouverte, on plonge le piézomètre dans l'eau ; celle-ci s'y introduit par la pointe ; on n'en laisse d'abord entrer qu'une petite quantité, et on l'y fait bouillir pour chasser tout l'air adhérent aux parois; on vide cette eau ; puis, replongeant le piézomètre dans l'eau non privée d'air, il se remplit de cette eau, sans que celle-ci perde l'air qu'elle contient. On ferme ensuite à la lampe la pointe ouverte du réservoir, et la chaleur de la main suffit pour en faire sortir les bulles d'air qu'il pourrait contenir encore.

Tableau des Contractions de l'eau non privée d'air, à 0°.

Atmosph.	Degrés de l'échelle.	Différences de pression.	Différences de contraction.	Contraction pour 1 atmosph.
1	675 1/2			
3	653	2	22 1/2	11 1/4
4	642 1/4	1	10 3/4	10 3/4
6	621 1/2	2	20 3/4	10 3/8
8	599	2	22 1/2	11 1/4
12	555	4	44	11
18	489 1/2	6	65 1/2	10
24	423	6	66 1/2	11 1/2

Ce tableau nous fournit la même observation que le précédent, c'est-à-dire que les contractions sont constantes pour des accroissemens égaux de pression. Mais la valeur absolue de la compressibilité pour une atmosphère n'est plus la même qu'auparavant. Elle est moindre que pour de l'eau privée d'air, en sorte que l'eau qui contient de l'air en dissolution est moins compressible que celle qui en est privée. Nous avons aussi vérifié ce résultat à la température de $+4°$. Les rapports de compressibilité ont été les mêmes. Cette diminution de compressibilité de l'eau qui contient de l'air en dissolution, sert à confirmer ce que l'on savait déjà, c'est que cet air n'y est point contenu à l'état de simple mélange, mais qu'il y est retenu par une véritable combinaison chimique.

La différence des résultats obtenus par divers physiciens sur la compressibilité moyenne de l'eau, nous paraît provenir en partie de ce qu'ils auront opéré sur de l'eau plus ou moins bien privée d'air. Il ne suffit point, en effet, d'une seule ébullition pour dégager tout l'air contenu dans l'eau, il s'en dégage à la troisième et à la quatrième.

Avant de terminer ce que nous avions à dire sur ce liquide, nous ferons observer que Canton ayant mesuré la compressibilité de l'eau non privée d'air, dit (*Tans. Philos.* pour 1764) que sa compressibilité était la même que celle de l'eau privée d'air; sans doute les faibles compressions qu'il employait ne lui auront pas permis d'apercevoir cette différence.

Ces expériences ont été faites dans un piézomètre pour lequel le poids d'un volume de mercure remplissant le

réservoir était de 271,530 milligrammes ; le tube capillaire était divisé en quatre parties d'égales capacités, et le poids d'une colonne de mercure occupant ces 4 divisions, était de 1578,5 milligrammes. La 2e division qui était exactement cylindrique, avait 344 demi-millimètres de longueur.

En comparant le poids du réservoir avec celui des 4 divisions du tube capillaire, on trouve par le calcul que le volume du réservoir était équivalent à 236,736 des parties égales en capacité de la division cylindrique du tube capillaire correspondantes aux 344 millimètres que comprend sa longueur.

Le liquide, au commencement de l'expérience, remplissait le réservoir et une portion du tube capillaire longue de 680 millimètres. En les ajoutant au volume du réservoir que nous venons d'évaluer, on trouve que le volume primitif du liquide était égal à 237,416 des petits degrés du tube capillaire.

En comprimant le liquide, nous avons trouvé sa contraction moyenne pour chaque atmosphère égale à 11° du tube; ce qui fait $\frac{11}{237,416}$ du volume primitif, on a à très-peu près 46,4 millionièmes. Telle est la contraction observée pour une atmosphère de $0^m,7466$ de mercure, l'air du manomètre étant à la température de 10° $\frac{1}{4}$. Il faut maintenant avoir la contraction pour une atmosphère de $0^m,76$ de mercure à la température de 10°.

Le manomètre ayant été fixé à la température de 10°, chaque atmosphère se trouve augmentée par l'accroissement de température de $\frac{1}{4}$ de degré, de $\frac{1}{4}$ ou $\frac{1}{954}$. Il

faut donc diminuer la contraction observée de sa 954e partie, pour avoir la contraction produite par une atmosphère à 10°; on trouve pour celle-ci 46,35.

La contraction pour une atmosphère, à 10°, de 0^{m},7466 de mercure, étant 46,35 millionièmes, on en conclut que la contraction produite par 1 atm. de 0^{m},76 à 10°, est égale à environ 47,2 millionièmes du volume primitif.

Mais ce n'est là que la contraction apparente. Il faut lui ajouter, pour avoir la contraction réelle, la contraction cubique du verre que nous avons évaluée à 3,3. On obtient ainsi 49,5 millionièmes pour la condensation réelle du liquide soumis à une pression d'une atmosphère de 0^{m},76 de mercure à 10°.

Expériences sur l'Alcool.

La contraction de l'alcool n'est pas aussi facile à observer que celle de l'eau. L'adhérence de ce liquide aux parois du tube capillaire l'empêche de prendre immédiatement le volume définitif auquel il tend à parvenir, et occasione souvent des dérangemens dans l'extrémité de cette colonne. On corrige en partie cet effet, en mettant plus de temps à opérer les compressions et en maintenant le mercure du manomètre au même point, jusqu'à ce que la colonne de liquide paraisse parfaitement immobile. Mais ce n'est qu'en répétant quelquefois l'expérience pour prendre une moyenne, et surtout en corrigeant la série obtenue par des compressions croissantes en la comparant avec la série décroissante, qu'on peut parvenir à un résultat

final exact. Il importe surtout de pousser la compression assez loin pour que le nombre des atmosphères compense les erreurs qui pourraient encore se trouver dans les observations.

Voici la plus régulière de trois séries d'expériences faites sur l'alcool :

Alcool à 11°,6. *Volume primitif* = 152 660 *degrés du tube capillaire.*

Therm. du manom. $7^{\circ}\frac{1}{2}$.

Atmosph.	Degrés de l'échelle.	Différences de pression.	Différences de contraction.	Contractions pour 1 atmosph.
1	202			
		2	27,7	13,85
3	235,7			
		3	39,8	13,2
6	275,5			
		6	80	13,6
12	355,5			
		6	78,5	13,2
18	434			
		6	77	12,8
24	511			

Retour.

24	511			
		6	76,5	12,8
18	434,5			
		6	78,5	13,1
12	356			
		6	79	13,19
6	277			
		3	41	13,6
3	236			
		2	27,5	13,75
1	208,5			

Les nombres de cette série, surtout ceux du retour qui sont réguliers, indiquent une diminution sensible

de compressibilité pour des accroissemens égaux de pression. On voit que les contractions les plus fortes sont aux contractions les plus faibles comme 138 : 128.

On trouve, en prenant des moyennes, que la contraction est 13,80 pour la 2e atmosphère, 13,40 pour la 9e et 12,75 pour la 21e. On en conclut que les contractions pour la 2e, la 9e et la 21e atmosphère sont égales respectivement à 92,87, 90,24 et 85,86 millionièmes, les atmosphères étant de 0^{m},76 de mercure et ramenées à la température de 10°. On voit par là que la compressibilité diminue d'environ $\frac{1}{30}$ pour chaque atmosphère de plus.

Pour avoir la compressibilité réelle, il faut ajouter aux contractions observées celle du verre qui est 3,3 millionièmes ; ce qui donnne 96,2, 93,5 et 89 millionièmes.

Expériences sur l'Éther sulfurique.

La mesure de la compressibilité de l'éther sulfurique présente quelque difficulté, parce que ce liquide adhère aux parois du tube, et qu'il ne prend pas immédiatement le volume correspondant à la pression qu'il éprouve. On remédie à ce double inconvénient en comprimant avec lenteur et retenant quelque temps le manomètre au même degré. En opérant ainsi, on trouve que pour des différences de pression égales, la contraction de l'éther sulfurique n'est pas constamment la même. On en pourra juger par le tableau suivant.

Ether sulfurique à 0°.

Therm. du manom. à

Atmosph. de $0^m,7466$.	Degrés de l'échelle.	Différences de pression.	Différences de contraction.	Contractions pour 1 atmosph.
3	13			
		9	135	15 +
12	148			
		6	84	14
18	232			
		6	80	$13\frac{2}{3}$
24	312			

Volume primitif = 117 930 degrés du tube capillaire.

On voit ici que la compressibilité va en diminuant à mesure que la compression augmente. Elle est de 15 degrés de l'échelle pour les premières atmosphères, et seulement de $13\frac{2}{3}$ pour les dernières. En employant tour-à-tour ces deux valeurs extrêmes, on trouve que la contraction de l'éther pour 1 atmosphère de $0^m,76$ de mercure à 10°, lorsque les compressions vont en croissant depuis 3 jusqu'à 24 atmosphères, décroît de 130 à 118,5 millionièmes.

Il faut ajouter à ces limites la contraction du verre 3,3 pour avoir la contraction absolue du liquide. Ainsi la compressibilité réelle de l'éther sulfurique à 0°, diminue lorsque les compressions augmentent, et varie de 133 à 122 millionièmes.

Ether sulfurique à 11°,4.

Thermomètre du manomètre 9°.

Atmosph. de $0^m,7466$.	Degrés de l'échelle.	Différences de pression.	Différences de contraction.	Contractions pour 1 atmosph.
1	658			
		2	59	$29\frac{1}{2}$
3	599			
		3	86	$28\frac{2}{3}$
6	513			
		6	169	$28\frac{1}{6}$
12	344			
		6	164	$27\frac{1}{3}$
18	180			
		6	162	27
24	18			

Volume primitif = 198 170 degrés du tube capillaire.

Si l'on prend $28\frac{2}{3}$ degrés de l'échelle pour la contraction qui résulte des premières atmosphères, et 27 pour celle que donnent les dernières, on trouve que la contraction pour 1 atmosphère à 10° de $0^m,76$ de mercure, lorsque les compressions vont en croissant de 3 à 24 atmosphères, décroît de 146 à 138 millionièmes.

En ajoutant à ces limites 3,3 pour la contraction du verre, on voit que la compressibilité réelle varie suivant les compressions croissantes, de 150 à 141 millionièmes.

Eau saturée d'ammoniaque.

La moindre compressibilité de l'eau qui contient de l'air en dissolution nous a conduits à rechercher quel serait le degré de compressibilité d'une solution d'ammoniaque, en la prenant aussi concentrée qu'il est pos-

sible de l'avoir à 20°. La densité de cette solution étant d'environ $\frac{1}{10}$ moindre que celle de l'eau pure, la diminution de compressibilité, si elle avait lieu, ne pouvait provenir d'une augmentation de pesanteur spécifique. Nous sommes parvenus à remplir de ce liquide un piézomètre sans le faire bouillir, et sans diminuer la pression intérieure, au moyen de la pointe ouverte qui terminait le réservoir en opérant comme pour l'eau non privée d'air. L'inspection du tableau suivant démontre ce fait remarquable, que l'eau saturée d'ammoniaque est moins compressible que l'eau pure.

Therm. du manom. à 10°. Volume primitif du liquide = 389360 degrés du tube capillaire.

Atmosph.	Degrés de l'échelle.	Différences de pression	Différences de contraction.	Contractions pour 1 atmosph.
1	580			
		3	46	15 $\frac{1}{3}$
4	534			
		4	53	13 $\frac{1}{4}$
8	481			
		2 $\frac{2}{3}$	38	14 $\frac{1}{4}$
10 $\frac{2}{3}$	443			
		5 $\frac{1}{3}$	68	12 $\frac{3}{4}$
16	375			

Retour.

16	378			
		5 $\frac{1}{3}$	65 $\frac{1}{2}$	
10 $\frac{2}{3}$	443 $\frac{1}{2}$			
		2 $\frac{2}{3}$	37 $\frac{1}{2}$	
8	481			
		4	52	
4	533			
		3	46	
1	579			

Ce tableau nous pésente un décroissement remarquable dans la compressibilité. Ce décroissement est ici beaucoup plus sensible que pour tout autre liquide.

Therm. du manom. à 10°.

Atmosph. de $0^m,7466$.	Degrés de l'échelle.	Différences de pression	Différences de contraction	Contractions pour 1 atmosph.
4	534			
		4	53	$13\frac{1}{4}$
8	481			
		$2\frac{2}{3}$	37	$13\frac{7}{8}$
$10\frac{2}{3}$	444			
		$5\frac{1}{3}$	66	$12\frac{3}{8}$
16	378			

Volume primitif = 389 360 degrés du tube capillaire.

L'accord de ces deux séries ne permet pas de soupçonner une erreur d'observation, ce liquide étant d'ailleurs un de ceux qu'il est le plus facile d'observer, parce qu'il ne se divise pas dans la colonne capillaire comme l'éther sulfurique, le carbure de soufre, etc. Nous remarquerons de plus que le piézomètre était un de ceux dont la division était le plus exactement cylindrique.

En admettant $13\frac{1}{4}$ pour la contraction moyenne produite par les premières atmosphères, on trouve que la contraction est égale à 34,7 millionièmes pour une atmosphère de $0^m,76$ de mercure à 10°; ce qui donne 38 millionièmes pour la contraction vraie.

Ether nitrique à 0°.

La dilatation des liquides étant en général très-grande et sujette à varier lorsqu'ils approchent de leur point d'ébul-

lition, nous aurions supposé que la contraction de l'éther nitrique dont le point d'ébullition est à 21°, aurait offert des différences sensibles pour diverses pressions. Cependant le tableau suivant ne donne qu'une diminution assez faible de compressibilité.

Atmosph. de $0^m,7466$.	Degrés de l'échelle.	Différences de pression.	Différences de contraction.	Contractions pour 1 atmosph.
1	$444\frac{1}{2}$	5	$69\frac{1}{2}$	$13\frac{9}{10}$
6	575	6	$81\frac{1}{4}$	$13\frac{1}{2}$
12	$293\frac{3}{4}$	6	$81\frac{1}{4}$	$13\frac{1}{2}$
6	$372\frac{1}{4}$	12	162	$13\frac{1}{2}$
18	213	6	80	$13\frac{2}{5}$
24	133			

Therm. du manom. à 10°.

Volume primitif = 197 740 degrés du tube capillaire. La contraction moyenne est 13,5, d'où résulte 13,74 pour une atmosphère de $0^m,76$; ce qui fait 68,2 millionièmes pour une atmosphère à 10° de $0^m,76$ de mercure. La contraction réelle est égale à 71,5.

Ether acétique à 0°. *Volume primitif* = 233 900 *degrés du tube capillaire.*

Therm. manom. à 12° c.

Atmosph.	Degrés de l'échelle.	Différences d'atmosph.	Différences de contraction.	Contraction pour 1 atmosph.
1	520	3	52	17 1/3
4	468	4	67	16 3/4
8	401	2 2/3	47 1/2	17 3/4
10 2/3	353 1/2	5 1/3	81 1/2	15 1/4
16	272			

Retour.

16	272	8	127	15 7/8
8	399	4	69	27 1/4
4	468	3	53	17 1/3
1	520			

Bis.

4	468	4	70	17 1/2
8	398	8	128	16
16	270			

Quoique les nombres qui expriment les contractions de l'éther acétique à des degrés variables de pression présentent quelques différences, cependant on voit que ces erreurs se corrigent mutuellement, et l'inspection des résultats comparés à de hautes et basses pressions, in-

dique une diminution sensible de compressibilité à-peu-près dans le rapport de 17 à 15,7.

Les contractions réduites à une atmosphère à 10° de $0^m,76$ de mercure varient de 76 à 68 millionièmes.

En y ajoutant celle du verre 3,3, on aura les contractions réelles.

Ether hydro-chlorique à $11^o,2$ *cent.*

Therm. des manom. à 8°.

Atmosph.	Degrés de l'échelle.	Différences de pression.	Différences de contraction.	Contractions pour 1 atmosph.
1	383			
		2	42	21
3	341			
		3	61	$20\frac{1}{3}$
6	280			
		6	120,5	$20\frac{1}{12}$
12	159,5			

Retour.

6	280			
		3	60,5	$20\frac{1}{6}$
3	340,5			
		2	22,5	$21\frac{1}{4}$
1	383			

Volume primitif = 255 340 degrés du tube.

De 1 atm. à 3 atm. la contraction est de.... 82,6. (million.)

De 6 à 12 la contraction moyenne. 78,95. (mill.)

En ajoutant la contraction du verre, on aura la contraction réelle du liquide, égale à 85,9 et 82,25.

Acide acétique à 0°.

Therm. du manom. 9°,7 c.

Atm. de 74c,66.

Atmosph.	Degrés de l'échelle.	Contractions pour 1 atmosph.
4	252	
8	289	$9\frac{1}{4}$
$10\frac{2}{3}$	315	$9\frac{3}{4}$
16	363	9

Retour.

16	364	
$10\frac{2}{3}$	316	9
8	291	$9\frac{3}{8}$
4	254	$9\frac{1}{4}$

Volume primitif du liquide = 239 060.

Si l'on prend $9\frac{1}{4}$ pour la contraction moyenne du liquide, on aura la contraction pour 1 atmosphère de 0m,76 de mercure à 10°, égale à 39 millionièmes; et faisant la correction du verre, on aura 42,2 pour la compressibilité absolue.

Acide sulfurique concentré à 0°.

Thermom. du manom. à $8° \frac{1}{2}$.

Atmosph. de $0^m,7466$.	Degrés de l'échelle.	Différences de pression.	Différences da contraction.	Contractions pour 1 atmosph.
1	324			
		3	14	$4 \frac{2}{3}$
4	310			
		4	17	$4 \frac{1}{4}$
8	293			
		4	17	$4 \frac{1}{4}$
12	276			
		4	17	$4 \frac{1}{4}$
16	259			

Retour.

16	259			
		4	17	$4 \frac{1}{4}$
12	276			
		4	$16 \frac{1}{2}$	$4 \frac{1}{8}$
8	$292 \frac{1}{2}$			
		4	$17 \frac{1}{2}$	$4 \frac{3}{8}$
4	310			
		3	$13 \frac{1}{2}$	$4 \frac{1}{2}$
1	$323 \frac{1}{2}$			

On peut donc adopter $4 \frac{1}{4}$ pour valeur moyenne de la contraction produite par une atmosphère de $0^m,7466$, l'air du manomètre étant à la température de $8° \frac{1}{2}$. On déduit de là que la contraction doit être à très-peu près égale à 4,37 degrés de l'échelle, pour une atmosphère de $0^m,76$ de mercure, l'air du manomètre étant porté à la température de 10°.

Or, le volume du réservoir du piézomètre, plus celui du liquide contenu dans le tube capillaire, comprend 152 655 degrés de ce tube. Ainsi, en divisant 4,37 par 152 655, on aura la contraction de l'acide sulfurique

à 0°, égale à 28,6 millionièmes. En lui ajoutant celle du verre 3,3, on aura sa contraction réelle égale à 32 millionièmes.

La dilatation de l'acide sulfurique de 0° à 100° est de 0,0588. Son point d'ébullution étant à plus de 300°, sa dilatation entre ces limites 0 et 100 doit être assez uniforme. En la supposant toujours la même pour chaque accroissement de température d'un degré, la condensation de l'acide sulfurique pour un abaissement de température d'un degré sera 0,000 588. On voit qu'elle est équivalente à celle qui serait produite par une compression de 20 atmosphères.

Expériences sur l'Acide nitrique.

L'acide nitrique sur lequel nous avons opéré était parfaitement pur ; mais il n'était pas très-concentré. Nous avons trouvé sa densité égale à 1,403 à 0°. Nous avons préféré le prendre à cette densité pour éviter sa décomposition trop rapide par la lumière.

Ayant en vue des expériences comparatives sur ce liquide à différentes températures, il était indispensable qu'il pût se conserver quelque temps dans le piézomètre sans s'altérer. Un autre motif de ce choix, c'est que les expériences sur la dilatation et la chaleur spécifique de ce liquide ont été faites sur de l'acide ayant ce degré de densité. Pour empêcher qu'il ne pût absorber de l'humidité, nous avons introduit dans le tube capillaire une goutte de carbure de soufre qui servait en même temps d'index.

Acide nitrique à 0°. *Densité* 1,403.

Therm. du manom. à $8°\frac{1}{2}$.

Volume primitif du liquide = 214 960 des degrés de l'échelle.

Atmosph. de $0^m,7446$.	Degrés de l'échelle.	Différences de pression.	Différences de contraction.	Contractions pour 1 atmosph.
1	607,5	3	20	$6\frac{2}{3}$
4	587	4	27	$6\frac{3}{4}$
8	560	4	27	$6\frac{3}{4}$
12	533	4	27	$6\frac{3}{4}$
16	506	16	109	$6\frac{13}{16}$
32	397			
32	397	16	$108\frac{1}{2}$	$6\frac{3}{-}$
16	$505\frac{1}{2}$	4	27	$6\frac{3}{4}$
12	$532\frac{1}{2}$	4	$26\frac{1}{2}$	$6\frac{13}{8}$
8	559	4	27	$6\frac{3}{4}$
4	586			
4	588			
16	507	12	81	$6\frac{3}{4}$
1	614			

La contraction moyenne est donc à très-peu près égale à 6,75 degrés du tube capillaire, ce qui fait 32,2 millionièmes pour la pression d'une atmosphère à 10° de $0^m,76$.

Essence de Térébenthine.

Les expériences sur l'essence de térébenthine ne sont point susceptibles d'autant de précision que celles sur

les autres liquides, à cause de la viscosité qui la fait adhérer aux parois du tube, et rend la contraction apparente trop grande, en l'empêchant d'arriver immédiatement au point que son extrémité doit atteindre. Nous avons réussi à neutraliser sensiblement cet effet en fixant pendant très-long-temps le manomètre a 16,18 et 24 atmosphères, jusqu'à ce que l'extrémité de la colonne demeurât parfaitement immobile.

Essence de Térébenthine à 0°.

Therm. du manom. à 8° c.

Volume primitif du liquide = 255 340 des degrés de l'échelle.

Atmosph. de 0m,7466.	Degrés de l'échelle.	Différences de contraction.		Contractions pour 1 atmosph.
1	703			
		3	63	21
4	640			
		4	70	17 1/2
8	570			
		4	68	17
12	502			
		4	70	17 1/2
26	432			

Retour.

16	432			
		4	70	17 1/2
12	502			
		4	69	17 1/4
8	571			
		4	70	17 1/2
4	641			
		3	63	21
1	704			

En adoptant 17,33 pour contraction moyenne, on trouve 69,7 millionièmes pour la pression normale d'une atmosphère à 10° de 0^m,76 de mercure. La contraction réelle est par conséquent égale à 73 millionièmes.

(*La fin au prochain Cahier*)

Recherches *sur la Fermentation du Fromage, et sur l'Oxide caséeux et l'Acide caséique.*

Par M. Henri Braconnot,
Correspondant de l'Institut.

Personne ne contestera à Proust les immenses services qu'il a rendus à la science; mais on est forcé de convenir que ses derniers travaux n'offrent pas toujours la précision et l'exactitude qu'on devait attendre d'un aussi habile chimiste. C'est après avoir fait quelques recherches sur l'hordéine, et m'être convaincu qu'elle n'est qu'un composé d'amidon, de matière animale et de fibre ligneuse, que je me suis déterminé à répéter les expériences du même chimiste sur la fermentation du caillé.

750 grammes de fromage bien égoutté, mais non lavé, provenant du lait de vache écrémé et coagulé spontanément, ont été délayés avec environ un litre d'eau dans un bocal couvert, et on a abandonné le tout à une température de 20 à 25 degr. c. pendant un mois. Au bout de ce temps, l'odeur putride m'ayant paru moins intense qu'auparavant, voyant d'ailleurs que le

SUITE

Du Mémoire sur la Compression des Liquides.

Par MM. Colladon et Sturm, de Genève.

§ II.

Chaleur dégagée par la compression des liquides.

Les phénomènes de chaleur qui résultent de la compression des corps ont attiré depuis quelques années l'attention de plusieurs géomètres et physiciens. La connaissance de ces phénomènes se lie aux questions les plus importantes de la physique, et pourrait conduire à des conséquences d'un haut intérêt sur la nature même de la chaleur et sur les rapports qui existent entre ce fluide et les différens corps.

Ces recherches ont encore acquis une nouvelle importance pour les géomètres depuis que M. Laplace en a montré l'application à la théorie du son, et prouvé qu'en tenant compte de la chaleur dégagée dans la compression de l'air, on fait coïncider la formule mathématique du son avec les résultats fournis par l'expérience.

Les phénomènes du dégagement de chaleur par la compression des gaz nous sont aujourd'hui presque entièrement connus, grâce aux travaux de M. Gay-Lussac, de MM. Clément et Désormes, et aux recherches plus récentes de MM. de Larive et Marcet.

On doit à MM. Berthollet et Pictet des observations sur l'élévation de température qui résulte de la compres-

sion des métaux dans le frappé des médailles; Rumford et M. Morosi ont fait des recherches sur la chaleur dégagée par le frottement des métaux; mais, vu l'extrême difficulté de ce genre d'expériences, il est bien peu probable que l'on parvienne à des résultats bien précis.

Quant au dégagement de chaleur qui semble devoir accompagner la compression des liquides, il n'a point encore été reconnu d'une manière directe; les seules expériences qui aient été faites jusqu'ici sur ce sujet sont celles de M. Dessaigne, et celle que M. OErsted a consignée dans son Mémoire sur la compressibilité de l'eau.

Le premier a annoncé, dans une Note insérée dans le *Bulletin de la Société philomatique*, qu'il est parvenu à dégager de la lumière de plusieurs liquides, en les soumettant à une compression forte et subite. M. OErsted dit (*Annales de Chimie*) avoir essayé vainement de produire de la chaleur par une compression de l'eau égale à six atmosphères. Il était douteux, d'après son expérience, que l'on pût parvenir à mesurer avec exactitude le dégagement de chaleur que doit produire la compression des liquides. Il fallait même, pour pouvoir espérer de la rendre sensible, employer un appareil où l'on pût reconnaître de très-faibles degrés de chaleur, et qui fût capable en même temps de résister à des pressions et à des chocs considérables. Celui que nous avons adopté nous paraît satisfaire à la fois à ces deux conditions. Il consiste (*voy.* fig. 5) en un ballon de verre *bb* dont la capacité intérieure est d'environ $\frac{3}{4}$ de litre, et dont les parois épaisses de 25 à 35 millimètres peuvent supporter des compressions rapides d'un grand nombre d'atmo-

sphères. Au centre de ce ballon est suspendue la spirale *t* d'un thermomètre de Bréguet. Un petit cadran placé au-dessous sert à mesurer les déviations de l'aiguille. Ce thermomètre se trouve ainsi plongé dans une masse suffisante de liquide, et il est impossible que la température de celui-ci puisse varier sans qu'on n'en soit averti à l'instant même.

La résistance du liquide rendait l'observation de ce thermomètre beaucoup plus facile qu'elle ne l'est dans les gaz où la vacillation de l'aiguille rend ses indications difficiles à observer. Le ballon ayant été rempli avec de l'eau distillée privée d'air par l'ébullition, nous l'avons vissé à une pompe de compression fixée solidement à un étau. Pour connaître d'abord l'effet d'une compression lente sur la température du liquide, nous nous sommes servis d'un tour à vis sans fin adapté au cylindre de la pompe. En comprimant l'eau du ballon jusqu'à 36 atmosphères, nous avons observé une déviation de l'aiguille du thermomètre, mais en sens contraire de celle qu'aurait produit un accroissement de température. Cette déviation était d'environ un degré de la division du thermomètre pour 12 atmosphères. Elle s'explique très-bien par l'inégale compressibilité des deux métaux qui le composent. N'ayant pas d'expérience précise sur la mesure de la compressibilité du platine, nous ne pouvons décider si la déviation était exactement ce qu'elle devait être d'après l'inégale compressibilité de ce métal et de l'argent, ou si elle était diminuée par un très-petit accroissement de température. Cependant, si l'on fait attention que pour le plus grand nombre des métaux une différence de pression d'aumoins 15 atmosphères

ne produit qu'une contraction qui équivaut tout au plus au changement de volume produit par un abaissement de température d'un seul degré, on en pourra conclure avec certitude qu'une compression lente de 36 atmosphères ne produit pas un changement de température d'un seul degré. Pensant que la rapidité de la compression pouvait avoir quelque influence, nous avons supprimé la vis sans fin du tour et nous nous sommes servis d'un levier *ll* pour opérer cette compression. Par ce moyen, nous pouvions produire une pression de 30 atmosphères en moins d'un quart de seconde. Les déviations de l'aiguille ont été exactement les mêmes. et dans le même sens que pour une compression plus lente. Cependant, comme cette compression ne pouvait pas être considérée comme instantanée, nous avons fait des expériences semblables en faisant frapper sur le piston à coups de marteau. Indépendamment des légères oscillations imprimées à l'aiguille du thermomètre par l'action du choc, nous avons encore observé une déviation constante et négative, quoique les coups du marteau eussent été assez forts pour refouler beaucoup le métal à l'extrémité de la tige du piston.

En répétant ces expériences sur l'alcool, nous avons obtenu des résultats semblables. Seulement la déviation nous a paru moindre, et même les coups de marteau paraissaient occasionner une légère déviation en plus sur le thermomètre.

L'éther sulfurique était le liquide le plus propre à rendre sensible un dégagement de chaleur, puisque sa compressibilité est presque triple de celle de l'eau. En

conséquence, nous avons remplacé l'alcool par de l'éther à 64 degrés.

Les compressions lentes de 30 et 36 atmosphères n'ont eu presque aucune influence sur le thermomètre; l'aiguille a paru presque stationnaire, et la contraction de l'hélice a été sensiblement nulle; ce qui indiquait que la chaleur dégagée devait être de 1 à 2 degrés. Mais lorsque nous avons substitué à ces moyens de compression le choc des coups de marteau, constamment l'aiguille a indiqué une élévation de température comprise entre 4 et 6 degrés du thermomètre de Bréguet.

Nous avions déjà reconnu cette élévation de température dans des expériences précédentes faites avec des pressions subites de 40 atmosphères, au moyen du même appareil, dans lequel la pompe de compression était remplacée par un récipient plein d'air comprimé *r* (fig. 6), muni d'un manomètre communiquant avec l'intérieur du ballon: et les résultats que nous avions obtenus n'avaient pas différé beaucoup de ceux qu'ont produit les coups de marteau. Ce moyen a l'avantage d'occasioner une pression parfaitement déterminée et qui ne varie point pendant l'expérience; cependant, comme il est difficile de comprimer l'air à de si hautes pressions et que l'effort nécessaire pour ouvrir subitement le robinet agitait l'aiguille presqu'autant que les coups de marteau, nous avons employé préférablement la pompe de compression. Si l'on essaie des expériences analogues en remplaçant le thermomètre Breguet par de petits thermomètres à mercure très-sensibles, ouverts à leur extrémité supérieure, on observe presque constamment une élévation de la colonne capillaire qui paraît indiquer

des accroissemens sensibles de température ; mais nous avons reconnu que cette élévation provient de l'inégale compression que supporte la boule au dedans et au dehors , parce que le frottement de la colonne de mercure dans le tube capillaire empêche la compression de se transmettre instantanément à celui que contient la boule.

Il nous paraît démontré par ces expériences 1°. que la température de l'eau ne s'élève pas sensiblement par une compression subite de 40 atmosphères ; 2°. que pour l'alcool et pour l'éther sulfurique , une compression de 36 et 40 atmosphères opérée dans plus d'un quart de seconde , n'élève pas leur température de plus d'un degré centigrade ; mais qu'une compression plus rapide , telle que celle que peut produire un coup de marteau , opérée sur l'éther sulfurique, dégage assez de chaleur pour élever sa température d'environ 4 à 6 degrés centigrades.

Nous donnerons , à la fin de ce Mémoire , une nouvelle preuve du peu de chaleur dégagée dans une compression rapide de l'eau , déduite de la comparaison de la vitesse du son observée dans ce liquide avec celle que donne la formule de M. Laplace indépendamment de toute élévation de température. Cette comparaison nous offrira une vérification précieuse des expériences contenues dans cet article.

Il est sans doute difficile de concilier en théorie ces résultats positifs avec les expériences de M. Dessaigne ; mais rien n'autorise à affirmer que la lumière que ce physicien dit avoir observée dans ces liquides par des compressions très-puissantes soit l'indice d'une haute

élévation de température. Il faut ranger ce phénomène dans la même classe que celui du dégagement de lumière produit par la compression de quelques corps solides, des quartz, par exemple, qui, lorsqu'on les choque dans l'obscurité, paraissent lumineux, sans que pour cela leur température s'elève sensiblement, lors même que l'on réitère plusieurs fois ce choc.

§ III.

Recherches sur l'influence de la Compression sur la conductibilité électrique.

Pour ces recherches (*v.* fig. 7), nous avons pris des tubes de verre longs d'environ 3 décimètres, fermés aux deux bouts; aux extrémités étaient soudés à la lampe des fils de platine communiquant à l'intérieur, et destinés à y faire passer le courant. La compression se transmettait au liquide contenu dans ce tube par le moyen d'un second tube *t*, soudé au milieu du premier et perpendiculairement à sa longueur, de manière à former une figure semblable à celle d'un T. C'est au moyen de ce second tube qu'on remplissait l'appareil du liquide. On l'adaptait ensuite à une pompe de compression munie d'un manomètre *mm*.

Au moyen de cet appareil, le liquide qui transmettait le courant pouvait être comprimé, sans qu'aucune cause, autre que la compression, pût influer sur sa conductibilité. Pour avoir un courant d'une intensité sensiblement constante pendant le temps nécessaire pour une expérience, nous avons employé une pile à auges chargée avec de l'eau pure ou légèrement salée. Une

des extrémités correspondait à un galvanomètre à deux aiguilles g, dont le fil se trouvait compris dans le circuit. On réglait d'abord la pile de manière qu'en complétant le circuit avec le liquide introduit dans le tube, la déviation du galvanomètre fût au moins de 15 degrés plus faible que celle qu'on obtenait en le complétant avec du mercure. On était donc sûr que cette diminution de 15 degrés était due à l'imparfaite conductibilité du liquide soumis à l'expérience, et qu'elle était suffisante pour que l'on pût apprécier de très-petites différences de conductibilité. En effet, nous nous servions d'un galvanomètre dont l'aiguille supérieure portait un fil de verre très-fin, qui mesurait les déviations sur un arc de cercle de trois pouces de rayon, et donnait très-facilement des quarts de degrés.

Un de nos appareils ayant été rempli d'eau distillée, on y fit passer un courant qui fit dévier l'aiguille de 22 degrés. En supprimant cette colonne d'eau intermédiaire, et la remplaçant par du mercure, la déviation s'éleva à 76°. Dans ce cas, la différence de déviation due au peu de conductibilité de l'eau était de 54°.

Voici le tableau des déviations observées pour des pressions de 5, 10, 20, 30 atmosphères :

	Atmosphères.	Degrés de déviation.
Eau pure.	1	$22\frac{3}{4}$
	5	$22\frac{3}{4}$
	10	$22\frac{1}{4}$
	20	23
	30	23.

On voit par ce tableau que le rapprochement des molécules de l'eau dû à la compression de ce liquide n'a

pas une influence bien sensible sur sa conductibilité. La différence de déviation d'un quart de degré est trop petite pour qu'on puisse en conclure avec certitude une variation de conductibilité. Ce résultat mérite d'autant plus d'être remarqué, que ces 30 atmosphères produisent une contraction équivalente à celle que produirait un abaissement de température de 3 degrés, et qu'une telle diminution de chaleur fait varier sensiblement la conductibilité de l'eau.

Une expérience semblable faite avec une dissolution concentrée d'ammoniaque a donné le même résultat, c'est-à-dire que la déviation du galvanomètre était sensiblement la même lorsque le courant traversait ce liquide comprimé ou non comprimé.

En faisant passer le courant au travers d'une longue colonne de mercure contenue dans un tube capillaire, nous n'avons pu également obtenir aucune variation de conductibilité. Il n'en a pas été de même pour l'acide nitrique. Nous avons trouvé, en le comprimant, que la déviation de l'aiguille diminuait d'une quantité notable, comme le montrent les résultats suivans déduits de trois expériences.

	Atmosphères.	Degrés de déviation.
Acide nitrique.	1	47
	5	47
	10	46 $\frac{3}{4}$
	20	46
	30	44 $\frac{3}{4}$.

Lorsqu'on supprimait la colonne d'acide nitrique et qu'on la remplaçait par une goutte de mercure, la dé-

viation s'élevait à 63°. La différence de 16° provenait par conséquent de la conductibilité imparfaite de l'acide nitrique. La diminution de conductibilité dans cet acide, lorsqu'il est soumis à de fortes pressions, ne nous paraît pas provenir de l'obstacle que pourrait opposer au passage de l'électricité le rapprochement de ses particules, puisque dans des liquides plus compressibles, tels que l'eau pure et l'eau saturée d'ammoniaque, ce rapprochement n'influe pas sur la conductibilité. Il nous semble que ce phénomène doit être attribué à une autre cause, c'est-à-dire, au changement que l'accroissement de pression produit dans la force d'affinité des élémens du liquide.

On ne peut expliquer plusieurs phénomènes de conductibilité dans les corps liquides, par exemple, le peu d'intensité d'un courant qui passe à travers de l'eau pure, et l'accroissement considérable de cette intensité par l'addition d'une très-petite quantité d'un acide, d'une base ou d'un sel soluble, qu'en admettant avec plusieurs chimistes et physiciens célèbres que cette transmission du courant s'opère par une suite de compositions et de décompositions successives. Il y a, sans doute, dans tous les cas, une portion de l'électricité qui est transmise par le corps liquide, indépendamment de toute action chimique. Ainsi, dans le mercure, on ne peut soupçonner aucune composition et décomposition possible. L'eau parfaitement pure conduit l'électricité à haute tension, sans aucune séparation de ses élémens. Mais pour des liquides non métalliques et lorsque la force électro-motrice, qui produit le courant, n'a qu'une faible tension, la plus grande partie de l'é-

lectricité se transmet à travers le liquide par le transport des molécules électro-positives et électro-négatives. La facilité de décomposition doit alors influer d'une manière puissante sur l'intensité du courant, et cette intensité diminuera, si une nouvelle cause vient mettre obstacle à la séparation des élémens. Il nous paraît probable que c'est à cette cause que tient la diminution que nous avons observée dans la déviation du galvanomètre, lorsque l'acide nitrique, qui transmettait l'électricité, était soumis à de fortes pressions. En effet, il a été bien établi par les recherches de M. Hall et plusieurs autres qui ont été faites depuis, qu'une forte pression diminue ou empêche la décomposition d'un grand nombre de substances, surtout lorsqu'elles contiennent des élémens gazeux. Il est donc possible que la décomposition rapide de l'acide nitrique par le courant de la pile ait été ralentie par la compression, et qu'il en soit résulté une diminution dans l'intensité du courant. Si telle est réellement la cause de cette diminution de conductibilité dans l'acide nitrique comprimé, il est probable que le même phénomène a lieu pour l'eau distillée ou chargée d'ammoniaque; mais que, vu son peu de conductibilité, la différence ne peut être mesurée.

De l'observation générale des principaux faits mentionnés dans cet article, nous croyons pouvoir conclure qu'une pression de 30 atmosphères ne change pas d'une manière sensible la conductibilité électrique du mercure, d'une solution concentrée d'ammoniaque et de l'eau distillée; qu'elle produit une diminution dans la conductibilité de l'acide nitrique, et que cet effet peut

s'expliquer par l'obstacle que la pression oppose à sa décomposition.

§ IV.

Vitesse du son des liquides.

On sait depuis long-temps que le son se transmet à travers les corps solides et liquides, comme dans l'air et dans les fluides aériformes. La connaissance du degré de compressibilité de l'eau ou de tout autre liquide, donne le moyen de déterminer la vitesse avec laquelle le son doit s'y propager. MM. Young et Laplace ont signalé cette application importante. Ils ont donné la formule à l'aide de laquelle, connaissant le degré de contraction qu'éprouve un liquide pour un accroissement donné de pression, on peut calculer la vitesse de la propagation du son dans une masse indéfinie de ce liquide. On calcule également par la même formule la vitesse du son dans les corps solides, pourvu que l'on connaisse la contraction qu'éprouve leur volume pour une pression donnée. M. Poisson a traité cette question dans un savant Mémoire qui fait partie de ceux de l'Institut pour 1819 (pag. 396—400). On y trouve la démonstration développée de la formule dont il s'agit.

La théorie étant aussi complète qu'elle peut l'être, il ne restait plus qu'à la comparer avec l'expérience, soit afin de vérifier l'une par l'autre, soit afin de découvrir la différence qui pouvait exister entre elles. Nous avons donc entrepris une suite d'expériences sur la vitesse du son dans l'eau, seul liquide où de telles expériences soient possibles, dans le dessein de comparer la vitesse observée avec la formule théorique qui doit la représenter.

On verra plus loin le détail de nos moyens d'expé-
iences et de nos résultats. Mais avant de les exposer,
l nous paraît convenable de rappeler sommairement les
oints principaux de la théorie du son, et particulière-
nent la formule qui sert à calculer sa vitesse dans les
ubstances liquides ou solides.

Newton est, comme on sait, le premier qui ait re-
herché les lois de la propagation du son dans l'atmo-
phère. Il considère une ligne indéfinie de molécules
'air, et suppose qu'une portion d'une petite étendue de
ette ligne d'air soit primitivement ébranlée; il montre
ue cet ébranlement se propage de proche en proche
ans toutes les tranches de la colonne d'air, comme on
oit se faire la communication du mouvement dans une
érie de billes élastiques, et il détermine le temps que
et ébranlement, qui produit la sensation du son, em-
loie à parvenir à une distance quelconque de son ori-
ine. Il trouve que la propagation du son est uniforme,
t que la vitesse de cette propagation supposée horizon-
le, ou l'espace que le son parcourt dans chaque se-
onde sexagésimale, a pour valeur la racine carrée du
ouble produit de la hauteur dont la pesanteur fait tom-
er les corps dans la première seconde par la hauteur
'une colonne d'air qui ferait équilibre à la colonne de
ercure du baromètre, et qui aurait partout la même
ensité qu'au bas de la colonne.

Lagrange, Euler, Laplace et M. Poisson ont ensuite
éduit cette même expression de la vitesse du son des
quations analytiques aux différences partielles qui re-
résentent le mouvement de l'air, soit dans une co-
onne cylindrique d'une longueur indéfinie, soit dans

une masse d'air illimitée. En étendant leurs recherches au cas où le mouvement de l'air se fait suivant deux ou trois dimensions, ils ont trouvé que, quoique l'intensité du son décroisse alors avec la distance, sa vitesse est la même que dans le cas où ce mouvement n'a lieu que suivant une seule dimension. Il résulte de cette théorie que chaque vibration d'une particule d'air produit dans la masse une onde sonore de figure sphérique, d'une épaisseur très-petite, qui se compose de toutes les molécules d'air en mouvement dans un instant donné, et qui s'éloigne indéfiniment du centre d'ébranlement. Le rayon de cette onde croît proportionnellement au temps écoulé, et c'est son accroissement constant dans l'unité de temps qui mesure la vitesse de propagation du son.

Il existait cependant une différence notable entre la vitesse du son déduite de cette théorie et celle qui résulte des expériences. Les physiciens en très-grand nombre, qui ont mesuré directement cette vitesse, se sont accordés à la trouver plus grande que la vitesse calculée, tellement que la différence s'élève à $\frac{1}{6}$ de la valeur observée.

Il serait inutile de rappeler toutes les hypothèses qui ont été faites pour concilier sur ce point le calcul et l'observation.

On doit à M. Laplace la véritable explication de cette différence. Elle doit être attribuée à l'accroissement d'élasticité des molécules d'air produit par le dégagement de chaleur qui accompagne leur compression. En y ayant égard, on détermine la quantité de chaleur rendue sensible dans la production du son et employée à augmenter l'élasticité de l'air. M. Poisson

a fait voir que si la compression ou la dilatation est de $\frac{1}{116}$, la température doit s'élever ou s'abaisser d'un degré centésimal. Enfin M. Laplace est parvenu à un théorême qui ne laisse plus rien à désirer sur la certitude de son explication. Il a trouvé que la vitesse du son est égale au produit de la valeur que donne la formule de Newton, multipliée par la racine carrée du rapport de la chaleur spécifique de l'air sous une pression constante à sa chaleur spécifique sous un volume constant. Ce rapport est un nombre plus grand que l'unité. Pour le déterminer, M. Laplace a fait usage des expériences de MM. Gay-Lussac et Welter. La formule de Newton, ainsi modifiée, s'est trouvée à peu près d'accord avec la vitesse réelle donnée par l'observation.

Le calcul de la vitesse du son et les lois de sa transmission dans les liquides et les solides sont presque les mêmes que dans l'air. Il suffit, pour notre objet, de rapporter ici la formule qui représente la vitesse du son dans un liquide. Pour en rendre l'application plus facile, nous l'énoncerons sous la forme algébrique, telle que M. Poisson l'a donnée dans son Mémoire.

Soit D la densité d'un liquide, k la longueur d'une colonne cylindrique de ce liquide sous une pression connue, ε la petite diminution de cette longueur pour un accroissement donné de pression P. La vitesse du son dans ce liquide étant désignée par a, sera donnée par la formule suivante :

$$a = \sqrt{\frac{P\,k}{D\,\varepsilon}}.$$

Supposons que l'on prenne pour P une pression égale au poids de 76 centimètres de mercure, on aura :

$$P = (0^{m},76) . g . m ,$$

m désignant la densité du mercure, et g la force accélératrice de la pesanteur ou le double de la hauteur dont elle fait tomber les corps dans la première seconde.

La seconde étant prise pour unité de temps, on a :

$$g = 9^{m},8088.$$

La vérification de ces formules, appliquées aux substances liquides et solides, exige des expériences très-précises. La terre n'offre pas des masses solides d'une continuité et d'une homogénéité suffisantes pour des expériences de cette nature ; il n'est pas probable qu'on parvienne jamais à vérifier en grand les calculs de vitesses relativement aux solides. Les expériences de M. Biot sur la transmission du son par les tuyaux en fonte de fer ont bien appris que sa vitesse surpasse de beaucoup celle de sa transmission par l'air ; mais comme le son lui parvenait en moins d'une demi-seconde, on n'en pouvait déduire qu'une évaluation très-incertaine, qui ne pouvait être regardée comme suffisante pour la vérification de la formule. L'eau nous paraît le seul corps où de telles expériences puissent être faites avec exactitude. Il a été reconnu que ce liquide transmet les sons à de grandes distances. Franklin s'était assuré que le bruit de deux cailloux choqués sous l'eau est encore sensible à plus d'un demi-mille. Il ne paraît pas cependant qu'il ait songé à en mesurer la vitesse. La seule expérience qui ait été faite jusqu'ici sur la vitesse du son dans un corps liquide est due à M. Beudant ;

elle a été faite dans l'eau de la mer, près de Marseille, il y a peu d'années. Voici sur cette expérience quelques détails que ce savant a bien voulu nous communiquer : Les deux observateurs, éloignés l'un de l'autre d'une distance connue, étaient munis de montres réglées et cheminant exactement ensemble. Au moment fixé, celui qui devait produire le son élevait un drapeau et frappait en même temps sur un timbre placé sous l'eau. L'observateur placé à l'autre station était accompagné d'un aide qui nageait près du bateau, entendait le son et indiquait par un signe le moment où il lui parvenait. On avait ainsi la mesure du temps que le son mettait à parcourir l'intervalle des deux stations. Cette mesure n'était pas rigoureusement exacte, parce que la personne placée sous l'eau ne pouvait pas donner son signal à l'instant même où le son lui parvenait. M. Beudant a conclu de ses expériences que la vitesse du son dans l'eau de mer doit être de 1500 mètres par seconde; mais ses diverses expériences lui ayant présenté des différences sensibles, il n'a donné ce résultat que comme une moyenne.

Il est probable que la vitesse réelle ne diffère pas beaucoup de cette moyenne, qui paraît s'accorder assez bien avec la théorie. Mais, pour pouvoir établir d'une manière certaine cette comparaison, il fallait nécessairement avoir une mesure parfaitement exacte, et de plus déterminer rigoureusement la densité et la compressibilité du liquide à la température même de l'expérience. Nous avons donc pensé à reprendre avec soin et en grand ces mesures pour lesquelles l'eau d'un lac

nous a paru convenable, comme donnant immédiatement la vitesse du son dans l'eau pure.

L'un de nous (1) a en conséquence, fait dans le lac de Genève, à la fin de l'année 1826, une suite d'expériences à de grandes distances, et a ainsi déterminé la vitesse du son dans l'eau pure; cette vitesse n'avait point encore été mesurée.

Les premiers essais ont eu pour but de trouver le moyen le plus sûr et le plus commode de produire un son qui fût entendu distinctement à de grandes distances. J'ai employé d'abord des poudres fulminantes qu'on faisait éclater sous l'eau, ou le choc de différens corps métalliques, tels que des timbres, des enclumes et des cloches. Ce dernier moyen fut reconnu le meilleur, non-seulement quant à la facilité et à la promptitude, mais aussi relativement à l'intensité du son. La cloche dont je me suis servi pour ces expériences avait environ 7 décimètres de hauteur et un diamètre un peu moindre. Elle était suspendue à une poutre en dehors d'un bateau et maintenue sous l'eau à une profondeur d'un mètre. (*V*. fig. 8.) A cette même poutre était fixé un levier coudé *mm*, dont l'extrémité supérieure était dans le bateau, tandis que l'autre était plongée sous l'eau et servait de marteau pour frapper la cloche. On pouvait ainsi frapper avec force, malgré la résistance du liquide.

On a fait toutes ces expériences de nuit, non-seulement pour n'être point troublé par des bruits étrangers, mais surtout pour la précision des signaux qui se donnaient, soit au moyen de fusées, soit en brûlant

---

(1) M. Colladon.

de la poudre. J'essayai d'abord d'entendre le son en plongeant la tête sous l'eau , mais ce moyen était incommode et peu exact. J'en trouvai un autre d'un usage sûr et facile , et qui permettait de plus d'augmenter à volonté l'intensité du son. Cette nouvelle méthode est fondée sur les considérations suivantes.

Lorsqu'on fait résonner un corps situé dans une masse d'eau tranquille et un peu au-dessus de la surface , une personne placée dehors de l'eau et à peu de distance , entendra très-bien le bruit produit par le choc de ce corps dans l'eau ; si elle s'éloigne en rasant la surface de l'eau , elle remarquera une diminution très-rapide dans l'intensité du son , et enfin à une distance de 200 ou 300 mètres , elle n'entendra absolument plus aucun bruit dehors de l'eau , lors même que l'oreille serait placée très-près de la surface du liquide ; cependant si , à cette distance ou à une beaucoup plus grande , cette personne vient à plonger la tête dans l'eau, elle entendra immédiatement le bruit d'une manière parfaitement distincte.

Il paraît donc que les rayons sonores qui viennent rencontrer la surface sous un angle très-aigu , ne passent pas dans l'air , mais éprouvent une sorte de réflexion dans l'intérieur de la masse liquide. Je pensai qu'en coupant cette masse par un plan vertical l'ondulation devait se communiquer au-delà de ce plan , et que par conséquent s'il se trouvait de l'air derrière ce plan , le son s'y transmettrait et serait dès-lors entendu dans l'air environnant.

Pour réaliser cette conception , je pris un tube cylindrique de tôle mince , long de trois mètres , large de

deux décimètres environ. Je le fis fermer à l'extrémité qui devait plonger dans le liquide. A cette extrémité était soudée une forte boucle où l'on suspendait les poids nécessaires pour faire plonger le tube et le maintenir vertical dans l'eau, de manière que l'extrémité supérieure et ouverte à laquelle on appliquait l'oreille ressortît seulement de 5 ou 6 décimètres au-dessus du niveau.

Dans la première expérience, j'étais éloigné d'environ 2000 mètres de la cloche. Ayant donné le signal pour frapper, j'entendis aussitôt dans le tube le bruit parfaitement distinct de chaque coup, et ce son était assez intense pour qu'il fût possible de l'entendre en éloignant l'oreille jusqu'à 5 ou 6 décimètres au-dessus de l'orifice du tube (1).

Par ce moyen, l'expérience devenait très-facile et susceptible d'une extrême précision. Il ne m'était plus nécessaire, en effet, d'avoir un aide pour m'indiquer l'arrivée du son. Je pouvais à la fois observer moi-même le signal et entendre le coup de cloche. Je prévenais ainsi une cause d'erreur manifeste dont il eût été difficile de tenir compte. Enfin, j'avais le moyen d'augmenter à ma volonté l'intensité du son en augmentant la surface du tube ; en conséquence (*v.* fig. 9), je lui donnai une longueur de 5 mètres, et je le fis terminer infé-

---

(1) Il est à remarquer qu'on n'entend absolument rien avec un cornet acoustique ouvert par le bas. On ne peut entendre qu'en plongeant complètement la tête et se remplissant l'oreille d'eau, ou par le moyen d'un tube plein d'air, tel que celui que j'ai employé.

rieurement par un évasement dont l'embouchure était verticale et fermée par un plan métallique *p* d'environ 20 décimètres carrés de surface. L'extrémité supérieure du tube avait la forme d'un cône avec une section oblique à l'axe pour y placer l'oreille. On tournait alors le tube de manière que le plan inférieur qui terminait l'évasement du tube fût tourné du côté de la cloche. Comme la section supérieure de ce tube était très-oblique à son axe, je pouvais y appliquer l'oreille, sans que cette position eût rien de gêné; ce qui me permettait de prolonger à volonté les expériences, et me laissait la liberté de compter moi-même l'intervalle de temps qui s'écoulait entre le signal du coup et le moment où le son me parvenait.

Le chronomètre dont je me suis servi avait une détente très-légère qui permettait de l'arrêter aux quarts de seconde. Quelques expériences faites comme essais à des distances de 5 et 6 mille mètres, m'ayant démontré la possibilité d'en faire sur une plus grande échelle, j'entrepris de répéter cette expérience dans la plus grande largeur du lac, c'est-à-dire, entre les petites villes de Rolle et de Thonon, sur une longueur de quatorze mille mètres (1).

Je ne pouvais choisir une position plus favorable pour cette expérience. La profondeur de l'eau est très-grande entre ces deux points, et le terrain suit de chaque côté une pente sensiblement égale, sans aucune élévation

---

(1) Cette distance est à peu près la moitié de celle de Montlhery à Montmartre qu'avaient choisie les académiciens français en 1738, pour mesurer la vitesse du son dans l'air.

intermédiaire qui pût intercepter le son. C'est ce qu'on peut voir dans une note sur les profondeurs du lac Léman, publiée par M. de la Bèche (*Bibl. Univ.* t. XII), où il donne une coupe du lac de Rolle à Thonon. D'après cette coupe, la profondeur moyenne du lac entre ces deux villes serait de 140 mètres. On ne trouve d'ailleurs dans cet intervalle aucune trace de courant; l'eau y est d'une grande transparence, et la profondeur est assez grande pour que l'agitation des vagues ne puisse la troubler. Les deux stations, celle où était la cloche et celle ou j'étais placé pour entendre, ont été prises dans la direction d'une ligne droite menée du clocher de Thonon à un des angles du château du Rolle. Chacun des bateaux était fixé de chaque côté à 200 mètres du bord du lac. Après quelques essais, je trouvai que le signal le plus convenable et le plus instantané pour cette distance était celui de l'inflammation subite d'une quantité suffisante de poudre. En en brûlant environ un quart de livre, on produisait un éclair qu'il était très-facile d'apercevoir depuis l'autre station, quoique la courbure de la terre m'interceptât la vue de tous les objets élevés de moins de neuf mètres au dessus de la surface de l'eau. Pour l'enflammer *subitement*, on se servait d'une lance à feu (*l* fig. 8) à laquelle le mouvement du marteau faisait toucher la poudre *p*, au moment où il frappait sur la cloche. Par ce moyen, la lumière de la poudre qui me servait de signal, apparaissait toujours à l'instant où le coup se frappait.

J'étais placé à l'autre station, la face tournée de manière à voir les signaux, et l'oreille appuyée sur l'ouverture du tube qu'un aide maintenait dans sa position

de manière que j'eusse l'usage de mes deux mains pour tenir et arrêter le chronomètre. Au moment où j'apercevais la lumière, je touchais la détente, et j'arrêtais ensuite à l'instant où j'entendais le coup. Le chemin parcouru par l'aiguille marquait le temps employé par le son à parvenir jusqu'à moi.

Il s'écoulait nécessairement un petit intervalle de temps entre le moment où je voyais la lumière et celui où je touchais la détente. Il y avait aussi un retard semblable après la sensation du son ; mais ce second retard devait être un peu moindre, et voici pourquoi : si l'on veut opérer un mouvement à un signal déterminé, il y a toujours un intervalle de temps entre la sensation reçue et l'action qui en est la suite, et ce temps est plus long si l'apparition du signal est difficile à prévoir. Dans mes expériences, la préparation de la poudre et de la lance à feu exigeait du temps et des précautions. La personne chargée de frapper la cloche donnait rarement le coup à l'instant déterminé, la lumière m'apparaissait presque toujours d'une manière inattendue ; tandis que le son, arrivant dans un temps toujours le même, était facilement prévu, surtout dans les dernières expériences. Il résulte de là que les temps observés sur le chronomètre pour la transmission du son étaient trop courts, d'une quantité très-petite, qu'on ne pouvait évaluer, mais qui ne devait point dépasser un quart de seconde.

J'ai fait trois séries d'expériences à des jours différens ; je vais en donner les résultats.

TEMPS OBSERVÉS.

7 Novembre.	15 Novembre.	18 Novembre.
9″ 1/4	9″ 1/4	9″ 1/2
9 1/2 1/4	9 1/2 1/4	9 1/2 1/4
9 1/4 1/2 1/4	9 1/4 1/2 1/4	9 1/4 1/2 1/4
9 1/4 1/2 1/4	9 1/4 1/2 1/4	9 1/4 1/2 1/4
9	9	9 1/4 1/2 1/4
9 1/4 1/2 1/4	9 1/4 1/2 1/4

trouvé 7330 toises ou 14287 mètres pour la distance du clocher de Thonon à la tour de Rolle. N'ayant pu me procurer les résultats mêmes de leur triangulation et désirant vérifier l'exactitude de ce nombre, j'ai fait répéter cette mesure en prenant pour base la distance de la tour de Saint-Pierre, à Genève, à la tour de Langin, située au pied de la montagne des Voirons, distance qui a été mesurée à deux époques différentes avec un très-grand soin, pour servir à une triangulation de la vallée du Léman.

Le premier triangle comprenait Genève, Langin, Rolle; le second, Langin, Rolle et Thonon. Cette mesure directe m'a donné 14240 mètres pour la distance du château de Rolle au clocher de Thonon. Celui-là est situé sur le bord même du lac. Quant au clocher de Thonon, sa projection est éloignée du bord de 353 mètres, ce qui donne 13887 mèt. pour la distance des deux rives.

En retranchant 400 mètres pour les distances des deux bateaux aux deux rives, on a 13487 mètres pour la distance des deux stations. Ce nombre peut être regardé comme exact, à moins de 20$^{m.}$ près.

Le temps que le son employait à parcourir cet espace était à très-peu près 9″,4, comme nous l'avons dit plus haut. Comme la propagation du son est uniforme, en divisant l'espace 13487 mètres par le temps 9″,4, on aura la vitesse du son ou l'espace qu'il parcourt dans une seconde. On trouve ainsi 1435 mètres pour la vitesse réelle du son dans l'eau (1).

---

(1) Pour apprécier jusqu'à quel point ce nombre peut être exact, observons que si l'on prenait pour la distance des

Le jour même de l'expérience je m'étais fait conduire entre les deux stations pour prendre la température de l'eau à différens endroits, à la profondeur de 3 et 6 mètres, au moyen d'un thermomètre dont la boule était recouverte de cire. Je trouvai la température partout la même à ces deux profondeurs ; elle était de 8°,2 degrés centigrades près de Thonon, 8°,1 au milieu du lac, et 7°,9 prés de Rolle ; la valeur moyenne est 8°,1

Pour comparer ces résultats avec ceux du calcul, il fallait déterminer avec beaucoup de soin la compressibilité de cette eau à cette température, ainsi que le rapport de sa densité à celui de l'eau distillée à 0°.

L'eau du lac, à une distance suffisante de l'embouchure du Rhône, peut être regardée comme parfaitement pure. A peine contient-elle $\frac{1}{2000}$ de son poids de

---

deux stations 13500 mèt., nombre que je crois trop fort, et pour la durée de la transmission du son $9''\frac{1}{4}$, nombre trop petit, on aurait pour la vitesse la plus grande valeur qu'on puisse supposer, savoir 1459 mèt.; mais cette quantité est certainement trop grande. Si, au contraire, on prenait la plus petite valeur possible pour la distance, c'est-à-dire 13486 mèt. moins 20 ou 13466 mèt., et pour le temps sa plus grande valeur 9″,5, on aurait la plus petite valeur possible de la vitesse, savoir 1417 mèt. On voit, par la détermination de ces limites, que si la vitesse véritable n'était pas égale à 1435 mèt., elle ne pourrait pas du moins différer de ce nombre, soit en plus, soit en moins, de plus de 24 mèt., de sorte que l'erreur possible dans cette expérience ne peut pas s'élever au-dessus de $\frac{1}{60}$ de la valeur véritable.

matières étrangères. M. Tingry en a donné des analyses qui peuvent être regardées comme les meilleures, parce qu'il a opéré sur de grandes masses. Il les a faites en été et en hiver. Nos expériences ayant été faites à la fin de novembre, nous donnerons seulement ici la moyenne de ces deux analyses, qui d'ailleurs ne diffèrent pas beaucoup entr'elles.

Moyenne de deux analyses de l'eau du lac de Genève, par M. Tingry.

24475 grammes de cette eau contiennent :
82,896 centilitres de gaz (composé principalement d'air contenant plus d'oxigène que l'air atmosphérique.)
1^{g},722 carb. chaux ;
0 ,172 carb. magnésie ;
0 ,212 muriate de magnésie ;
0 ,861 sulfate de chaux ;
0 ,848 sulfate de magnésie ;
0 ,040 argile siliceuse ;
0 ,172 partie ;

ce qui donne pour un kilogramme 0^{g},164 de matière étrangère non gazeuse, c'est-à-dire un peu moins de $\frac{1}{6\,000}$ du poids total.

La densité de l'eau du lac est à très-peu près 1,00015 à 4°, celle de l'eau distillée à 4° étant prise pour unité. Et comme le volume de l'eau augmente de 0,00013 quand elle passe de 4° à 8°, la densité de l'eau, au moment de mon expérience, était égale à l'unité, plus une fraction tout-à-fait négligeable.

Quelque petite que fût la quantité de matière étran-

gère contenue dans cette eau, nous avons cru devoir déterminer directement sa compressibilité, au lieu de la supposer égale à celle de l'eau distillée. Pour cela, nous l'avons introduite dans le piézomètre avec les précautions indiquées pour l'eau non privée d'air. Les expériences faites depuis 1 jusqu'à 20 atmosphères ont donné 46,18 millionièmes pour la compression moyenne d'une atmosphère. En ajoutant la contraction cubique du verre égale à 3,3, on a 49,48 ou à très-peu près 49,5 millionièmes pour la contraction absolue de l'eau du lac de Genève à 8° cent., nombre trouvé pour l'eau non privée d'air à 0.

Reprenons maintenant la formule de la vitesse du son que nous avons rapportée plus haut, afin d'y substituer les valeurs que nous venons de déterminer.

Cette formule est :

$$a = \sqrt{\frac{PK}{D\varepsilon}}.$$

En se rappelant quelles sont les quantités désignées par D, k, E et P, on a pour l'eau du lac de Genève à la température de 8°,1

$$D = 1\,;\ k = 1000\,000\,;\ \varepsilon = 49,5.$$

Si l'on prend pour P la pression d'une atmosphère de 0^m76 de mercure à la température de 10°, qui est celle où notre manomètre a été fixé, en désignant par m la densité de ce mercure, et par g la force accélératrice de la pesanteur ou le double de la hauteur dont elle fait tomber les corps dans la première seconde, on a :

$$P = (0^m,76) \cdot g \cdot m.$$

La valeur de g est, comme on sait,

$$g = 9^{m},8088.$$

La densité du mercure à 0° est, d'après les expériences de MM. Dulong et Petit, égale à 13,568; celle de l'eau distillée à 3°,90 étant prise pour unité. D'ailleurs, la dilatation du mercure est de 0,00018 pour chaque degré d'accroissement de température, et par conséquent de 0,0018 pour 10°. Le mercure passant donc de 0 à 10°, son volume augmente dans le rapport de 1 à 1,0018. La densité du mercure à 10° sera donc égale à sa densité à 0 ou 13,568 divisée par 1,0018; de sorte qu'on a $m = \frac{13,568}{1,0018} = 13,544$.

Substituant donc dans la formule de la vitesse du son toutes ces valeurs,

$$D = 1\ ;\ k = 1\,000\,000\ ;\ \varepsilon = 49,5$$
$$P = (0^{m},76) . (9,8088 . (13,544),$$

on trouve, en effectuant le calcul :

$$a = 1428.$$

Telle est donc la détermination théorique de la vitesse du son, déduite de la densité et de la compressibilité de l'eau, dans l'hypothèse qu'il n'y a point de chaleur dégagée par la compression rapide des molécules liquides qui puisse élever leur température. Or, la vitesse du son conclue de nos expériences, est, comme nous l'avons dit, égale à $\frac{13487}{9'',4}$ ou 1435 mètres.

Cette vitesse observée surpasse donc la vitesse calculée, mais l'excès n'est que de 8 mètres. Cette différence est trop petite pour qu'on puisse l'attribuer à

un dégagement de chaleur. Elle pourrait être encore deux ou trois fois plus grande qu'elle tomberait dans les limites des erreurs des observations. Ainsi l'accord entre l'expérience et la théorie est aussi parfait qu'on pouvait l'espérer.

Remarques sur la nature du son dans l'eau.

Je terminerai cet article par quelques remarques qui me paraissent mériter d'être mentionnées.

La première est relative à la durée d'un son dans l'eau, qui diffère notablement de sa durée dans l'air. Le bruit d'une cloche frappée sous l'eau entendu à quelque distance, ne ressemble aucunement à celui d'une cloche frappée dans l'air. Au lieu d'un son prolongé, on n'entend sous l'eau qu'un bruit net et bref, que je ne puis mieux comparer qu'à celui de deux lames de couteaux frappées l'une contre l'autre. Lorsqu'on s'éloigne indéfiniment de la cloche, le son conserve toujours ce caractère en diminuant d'intensité. La perception d'un bruit si sec et si bref provenant d'une distance de plusieurs lieues, cause un sentiment analogue à celui qu'on éprouve en voyant pour la première fois dans un télescope des objets éloignés qui paraissent très-distincts. En faisant cette expérience à des distances intermédiaires, le son m'a paru toujours le même quant à sa nature, ensorte qu'il m'eût été impossible de distinguer s'il provenait d'un coup fort et éloigné ou d'un coup faible et rapproché. Ce n'est qu'à une distance d'environ 200 mètres qu'on commençait à distinguer le retentissement de la cloche après chaque coup. Nous observons dans l'air un phénomène presqu'entièrement

opposé. Les coups frappés sur une cloche sont plus faciles à reconnaître de près, tandis que de loin on n'entend plus qu'un bourdonnement continu et presqu'uniforme. La résistance que l'eau oppose aux vibrations de la cloche ne donne pas une explication suffisante de ce fait ; car le même son entendu hors de l'eau était beaucoup plus prolongé : on reconnaissait très-bien le son d'une cloche, ce qui eût été impossible en entendant de loin le bruit transmis dans l'eau. Ce phénomène s'explique par la nature des vibrations sonores dans l'eau : on sait, en effet, que dans le mouvement vibratoire d'un fluide, la durée de l'agitation d'une particule est égale au rayon de la portion sphérique du fluide qu'on suppose primitivement ébranlée à l'origine du mouvement, divisée par la vitesse de transmission du son. La première de ces deux qualités est nécessairement plus petite dans l'eau que dans l'air ; la seconde est, au contraire, plus grande ; d'où il suit que la durée du son doit être beaucoup moindre quand il est transmis par l'eau, que quand il se propage dans l'air.

La seconde remarque est relative à la non transmission du son de l'eau dans l'air, lorsque les vibrations qui se propagent dans l'eau arrivent à sa surface sous un très-petit angle. Ainsi que je l'ai dit, à une distance de moins de 200 mètres, le son de la cloche frappée dans l'eau s'entendait facilement dans l'air ; mais à une distance plus grande, son intensité diminue très-rapidement. Enfin, à 4 ou 500 mètres, il est impossible de distinguer le plus léger bruit, même très-près de la surface de l'eau. Cependant, en plongeant la tête de quelques centimètres, ou en enfonçant un tube plein

d'air, comme je l'ai fait, on entend le bruit fort et distinct de chaque coup, et on l'entend encore à une distance 10 à 20 fois plus grande. Dans ces expériences, la cloche était placée à 2 mètres au-dessous du niveau de l'eau. Il est évident qu'à une distance de 500 mètres les vibrations arrivaient à la surface sous un angle sensible, augmenté encore par la courbure de la terre. Les vibrations qui ont lieu dans l'eau ne se communiquent donc point à l'air, lorsque leur direction rencontre la surface sous un angle assez petit, phénomène analogue à celui que nous présente la lumière à la surface de séparation de deux milieux d'une densité différente.

L'agitation produite par les vagues n'altère point la durée du son ni sa vitesse, lorsqu'on se sert d'un tube pour écouter. La dernière des trois expériences mentionnées plus haut a été faite par un temps orageux. Le vent, faible d'abord, s'était tellement accru qu'on fut obligé de se servir de plusieurs ancres pour maintenir le bateau. Malgré le bruit des vagues, je pouvais distinguer encore assez bien le son de chaque coup, et la durée de sa transmission ne fut point altérée, comme on a pu le voir par le tableau.

Une dernière observation que j'ai faite, se rapporte à l'influence des écrans sur l'intensité du son. Ayant choisi deux stations peu éloignées et situées de manière que la ligne droite qui les joignait rasât l'extrémité d'un mur épais qui s'élevait au-dessus du niveau de l'eau, je fis frapper régulièrement la cloche, et par des coups égaux en intensité. Ecoutant alors avec le tube alternativement de chaque côté de la ligne qui rasait l'extrémité de ce

mur, il m'a paru qu'il y avait une différence d'intensité très-marquée selon que cette extrémité était ou n'était pas interposée entre la cloche et le tube. La transmission du son dans l'eau diffère donc à cet égard de ce qui a lieu dans l'air, et se rapproche du mode de propagation de la lumière. Cette influence d'un écran pour diminuer sensiblement l'intensité du son mérite d'être remarquée, et offre un nouveau point de rapprochement entre les phénomènes de la propagation du son dans les liquides et ceux que l'on observe dans la propagation de la lumière.

Mémoire *sur un Mouvement de rotation dont le système des parties vibrantes de certains corps devient le siége.*

Par M. Félix Savart.

(Lu à l'Académie royale des Sciences le 30 juillet 1827.)

Toutes les fois qu'un corps solide et rigide produit des vibrations sonores, il se divise en plusieurs parties qui font leurs oscillations dans le même temps, et dont le nombre, ainsi que la disposition, dépendent du lieu de l'ébranlement, de la forme même du corps, de sa nature, de ses dimensions et de la position des points de son étendue qu'on a préalablement rendus immobiles. Dans certains cas, on ne peut changer aucune de ces conditions sans que l'arrangement des parties vibrantes soit altéré, et dans d'autres, au contraire, le même arrangement peut avoir lieu quand même une ou plusieurs de ces circonstances viennent à varier. C'est