
IMPRIMERIE ET FONDERIE DE J. PINARD,
RUE D'ANJOU-DAUPHINE, N° 8, PARIS.

PHYSIQUE



TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE

DE

PHYSIQUE,

PAR C. DESPRETZ,

PROFESSEUR DE PHYSIQUE AU COLLÈGE ROYAL DE HENRI IV,
RÉPÉTITEUR DE CHIMIE A L'ÉCOLE ROYALE POLYTECHNI-
QUE, MEMBRE DE PLUSIEURS SOCIÉTÉS SAVANTES.

OUVRAGE

ADOPTÉ PAR LE CONSEIL ROYAL DE L'INSTRUCTION PUBLIQUE, POUR
L'ENSEIGNEMENT DANS LES ÉTABLISSEMENTS DE L'UNIVERSITÉ.

PARIS,

CHEZ MÉQUIGNON-MARVIS, LIBRAIRE-ÉDITEUR,

RUE DU JARDINET, N° 13,

QUARTIER DE L'ÉCOLE DE MÉDECINE.

1825.



Dilatation des Solides.

66. Comme les dilatations des corps solides sont en général très petites, il faut employer des procédés bien rigoureux pour les mesurer. Les dilatations ont été le sujet de nombreux travaux ; mais la plupart des instrumens imaginés pour cet objet sont affectés de causes d'erreur, et ne peuvent conduire qu'à des résultats erronés. Nous exposerons deux procédés, avec assez de détails pour les bien faire concevoir, et nous rapporterons ensuite tous les résultats que nous croirons utiles et exacts.

MM. Lavoisier et Laplace ont fixé la barre métallique dans une position horizontale, contre un plan de verre ; ce plan était maintenu dans une position verticale invariable. L'autre extrémité de la barre s'appuyait également contre une lame en verre mobile, et dont l'extrémité faisait mouvoir une lunette dirigée sur une mire placée à 100 toises de distance. Un allongement d'une ligne dans la barre métallique, soumise à l'expérience, faisait parcourir à la lunette lorsque la mire était placée à 100 toises de distance, ce qui donnait la facilité de diviser la ligne en 744 parties.

La barre était portée de la température de la glace fondante, à celle de l'eau bouillante ; elle avait six pieds de longueur. L'erreur apportée par la dilatation des deux lames de verre, était négligeable vis-à-vis de la dilatation de la barre de longueur. Les deux illustres académiciens français ont soumis à leurs recherches tous les métaux connus à l'époque de leurs expériences (1782).



TABLEAU des Dilatations linéaires, d'après les expériences faites par MM. LAPLACE et LAVOISIER.

DÉNOMINATION DES SUBSTANCES.	DILATATION POUR UNE TOISE, EXPRIMÉE EN FRACTION DÉCIMALES DE LIGNE.	
	De la congélation à l'eau bouillante.	Pour un degré du thermomètre divisé en 100.
Glace de Saint-Gobain.....	0,76973.	0,0076973.
Tube de verre sans plomb.....	0,75662.	0,0075662.
Tube de verre sans plomb.....	0,77553.	0,0077553.
Autre tube de verre sans plomb....	0,79273.	0,0079273.
Flint-glass anglais.....	0,69212.	0,0069212.
Verre de France avec plomb.....	0,75340.	0,0075340.
Cuivre.....	1,48818.	0,0148818.
Cuivre.....	1,47935.	0,0147935.
Cuivre jaune ou laiton.....	1,61457.	0,0161457.
Cuivre jaune ou laiton.....	1,63271.	0,0163271.
Fer doux forgé.....	1,05447.	0,0105447.
Fer rond passé à la filière.....	1,06460.	0,0106460.
Acier non trempé.....	0,93205.	0,0093205.
Acier non trempé.....	0,93274.	0,0093274.
Acier trempé jaune, recuit jusqu'à 30 degrés.....	.....	0,0118342.
Acier trempé jaune, recuit à 30 degrés, autre résultat.....	.....	0,0119735.
Acier trempé jaune, recuit à 65 degrés.....	1,07097.	0,0107097.
Plomb.....	2,46098.	0,0246098.
Étain des Indes ou de Mélac.....	1,67413.	0,0167413.
Étain de Falmouth.....	1,87745.	0,0187745.
Argent de coupelle.....	1,65002.	0,0165002.
Argent au titre de Paris.....	1,64910.	0,0164910.
Or de départ.....	1,26667.	0,0126667.
Or au titre de Paris, non recuit....	1,34054.	0,0134054.
Or au titre de Paris, recuit.....	1,30776.	0,0130776.
Platine (selon Borda).....	.....	.....

DE PHYSIQUE.



SUITE DU TABLEAU.

DIMENSIONS QUE PREND UNE RÈGLE DONT LA LONGUEUR EST DE 1,00000000 A LA CONG LATION.		DILATATION EXPRIMÉE EN FRACTIONS VULGAIRES, DONT LE NUMÉ- RATEUR EST L'UNITÉ	
à l'eau bouillante.	Pour un degré du thermomètre divisé en 100.	De la congélation à l'eau bouillante.	Pour un degré du thermomètre divisé en 100.
1,00089089.	1,00000891.	$\frac{1}{1122}$	$\frac{1}{112247}$
1,00087572.	1,00000876.	$\frac{1}{1142}$	$\frac{1}{114191}$
1,00089760.	1,00000898.	$\frac{1}{1114}$	$\frac{1}{111408}$
1,00091751.	1,00000917.	$\frac{1}{1090}$	$\frac{1}{108991}$
1,00081166.	1,00000812.	$\frac{1}{1248}$	$\frac{1}{124834}$
1,00087199.	1,00000872.	$\frac{1}{1147}$	$\frac{1}{114680}$
1,00172244.	1,00001722.	$\frac{1}{581}$	$\frac{1}{58057}$
1,00171222.	1,00001712.	$\frac{1}{584}$	$\frac{1}{58404}$
1,00186671.	1,00001867.	$\frac{1}{535}$	$\frac{1}{53513}$
1,00188971.	1,00001890.	$\frac{1}{529}$	$\frac{1}{52918}$
1,00122045.	1,00001220.	$\frac{1}{819}$	$\frac{1}{81937}$
1,00123504.	1,00001235.	$\frac{1}{812}$	$\frac{1}{81157}$
1,00107875.	1,00001079.	$\frac{1}{927}$	$\frac{1}{92699}$
1,00107956.	1,00001079.	$\frac{1}{926}$	$\frac{1}{92630}$
.....	1,00001369.	.....	$\frac{1}{73018}$
.....	1,00001386.	.....	$\frac{1}{72159}$
1,00123956.	1,00001239.	$\frac{1}{807}$	$\frac{1}{80674}$
1,00284836.	1,00002848.	$\frac{1}{351}$	$\frac{1}{35108}$
1,00193765.	1,00001938.	$\frac{1}{516}$	$\frac{1}{51609}$
1,00217298.	1,00002173.	$\frac{1}{462}$	$\frac{1}{46161}$
1,00190974.	1,00001909.	$\frac{1}{524}$	$\frac{1}{52363}$
1,00190868.	1,00001908.	$\frac{1}{524}$	$\frac{1}{52392}$
1,00146606.	1,00001466.	$\frac{1}{682}$	$\frac{1}{68202}$
1,00155155.	1,00001552.	$\frac{1}{645}$	$\frac{1}{64452}$
1,00151361.	1,00001514.	$\frac{1}{661}$	$\frac{1}{66067}$
1,00085655.	1,00000857.	$\frac{1}{1167}$	$\frac{1}{116748}$

Ces expériences n'avaient pas été publiées par les auteurs. Les résultats que nous venons de rapporter ont été conservés par les soins de M. Lavoisier.

Avant de faire connaître par quel moyen on trouve immédiatement la dilatation en volume, nous décrirons d'une manière succincte le procédé de Ramsden, qui diffère de celui de MM. Laplace et Lavoisier, et qui réunit beaucoup de simplicité et d'exactitude. La barre métallique a cinq pieds de longueur; elle est placée horizontalement dans une auge en cuivre remplie d'eau; cette eau est échauffée par douze lampes à alcool, et est portée sans difficulté jusqu'à l'ébullition.

Deux auges en bois sont disposées parallèlement à l'auge en cuivre; chacune de ces auges renferme une barre de fonte; aux deux extrémités de ces barres est un microscope maintenu dans une position horizontale et perpendiculaire à la barre. L'un de ces microscopes est pourvu d'un micromètre. D'abord les trois barres sont à la même température, par exemple à zéro; chaque microscope est dirigé à la fois sur les extrémités des trois barres. Si ensuite la barre qui est dans l'auge en cuivre est échauffée, tandis que les deux autres conservent la même température, on pourra, par le secours des microscopes, mesurer en longueur son accroissement. (*Philosophical Transact*, p. 75.)

La dilatation en volume se détermine par un procédé plus simple que ceux que nous venons de dé-



crire pour les dilatations, et il est susceptible d'une très grande précision. MM. Dulong et Petit l'ont employé dans le mémoire que nous avons déjà cité. Ce procédé exige qu'on connaisse préalablement la dilatation absolue du mercure, et celle d'un corps solide, par exemple celle du verre; cette dernière est la différence entre la dilatation absolue et la dilatation apparente observée; ainsi si D et d représentent la dilatation absolue, la dilatation apparente du mercure, et V la dilatation absolue du verre, on aura $d = D - V$ ou $V = D - d$.

MM. Dulong et Petit se sont servis d'un tube de 6 décimètres de longueur, pouvant contenir à peu près 700 grammes de mercure; le tube était fermé par une de ses extrémités, et était terminé à l'autre extrémité par un tube capillaire, dont la capacité n'était qu'une très petite fraction de celle du tube principal. Cet appareil était porté successivement de zéro à 100, à 200 et à 300 degrés. La dilatation apparente était donnée par la quantité du mercure qui sortait du tube à chaque opération.

Tableau des Résultats.

Températures déduites de la dilatation de l'air.	Dilatations apparentes moyennes du mercure.	Dilatations absolues du verre en volume.	Températures déduites de la dilatation du verre supposé uniforme
100	$\frac{6480}{1}$	$\frac{38700}{1}$	100
200	$\frac{6378}{1}$	$\frac{36300}{1}$	213,2
300	$\frac{6318}{1}$	$\frac{32900}{1}$	352,9

La dilatation apparente est un peu plus faible que $\frac{1}{6459}$ déduite des expériences de MM. Lavoisier et Laplace. Mais ces savans n'avaient pas fait bouillir le mercure dans le vase qu'ils ont employé ; ils devaient donc parvenir à une dilatation trop forte.

La troisième colonne renferme les résultats qui expriment la dilatation cubique du verre. Ils sont la différence entre les nombres de la seconde colonne et la dilatation absolue du mercure trouvée précédemment.

La quatrième indique les températures que marquerait un thermomètre en verre gradué entre zéro et l'eau bouillante.

67. Le même procédé peut servir pour connaître la dilatation cubique des autres corps ; par exemple s'agit-il d'avoir la dilatation du fer, on introduit un petit cylindre de ce métal dans un tube que l'on remplit de mercure, et l'on chauffe jusqu'à l'ébullition afin de chasser l'air et l'humidité. En exposant ensuite le tube, à différentes températures, et pesant le mercure expulsé à chaque fois, il est aisé d'en déduire la dilatation du fer, car le volume sorti est égal à la somme des dilatations du fer et du mercure diminués de la dilatation du verre. Pour exécuter ce calcul, il faut connaître le volume de chacun des corps, ce qui s'obtient en divisant le poids de chaque corps par sa densité à zéro. La capacité du tube est égale à la somme des volumes du fer et du mercure.

Si le métal pouvait être altéré par le mercure, on l'oxyderait légèrement à la surface, ou on le couvrirait d'une couche très mince de vernis.



68. Quand on connaît, par le procédé dont il vient d'être question, la dilatation d'un corps solide, on détermine facilement la dilatation de tous les autres, en observant la marche du pyromètre formé par l'assemblage de deux règles réunies invariablement par une de leurs extrémités. C'est là le pyromètre employé par Borda et Deluc.

Dans les expériences de MM. Dulong et Petit, deux barres de 12 décimètres de longueur de 25 millimètres de largeur et de 4 millimètres d'épaisseur, sont réunies par une de leurs extrémités au moyen d'une traverse en fer, sur laquelle elles sont fixées par de fortes vis. Chaque règle porte à son extrémité une tige de laiton qui s'élève d'abord verticalement et se replie ensuite horizontalement. Les branches horizontales sont munies l'une d'une échelle divisée en cinquième de millimètres, l'autre d'un vernier.

Ces deux règles plongées dans un bain d'huile étaient portées à différentes températures. Aucune des précautions nécessaires pour assurer l'exactitude n'était négligée. En faisant cette expérience avec une lame de fer jointe successivement à une lame de cuivre et de platine, on a trouvé les résultats rapportés dans le tableau.

Températures du thermomètre à air.	Dilatations moyennes absolues du fer.	Dilatations moyennes absolues du cuivre.	Dilatations moyennes absolues du platine.
100	$\frac{1}{28200}$	$\frac{1}{19400}$	$\frac{1}{37700}$
300	$\frac{1}{22700}$	$\frac{1}{17700}$	$\frac{1}{36300}$

69. Les différens résultats, fournis par le verre, le platine, le cuivre et le fer, prouvent que la dilatation des solides, rapportée au thermomètre à air, est croissante et qu'elle l'est inégalement pour chacun d'eux. Si l'on construisait des thermomètres avec des règles de ces corps, et si on les graduait entre la glace fondante et l'eau bouillante, ils donneraient des températures beaucoup plus élevées que le thermomètre à air. On tire des tableaux ci-dessus les rapports suivans:

Thermomètre à air.	Fer.	Cuivre.	Platine.	Verre.
0	0	0	0	0
100°	100°	100°	100°	100°
300°	372°,6	328°,8	311°,6	352°,9

On voit que les indications du thermomètre de platine seraient les plus rapprochées de celles du thermomètre à air ;

Que la dilatation du verre est très croissante, puisqu'à trois cents degrés du thermomètre à air, le thermomètre de verre marquerait 352,9 ; voilà pourquoi notre thermomètre à mercure ne marque que 307°,64, quand le thermomètre à air marque 300, tandis que le mercure pris isolément marquerait 314,15, comme le prouve le tableau de la dilatation de ce métal.

70. D'après tout ce qui précède, il est évident que c'est au thermomètre à air que doivent être rapportées les températures. Mais la construction plus facile et l'usage plus commode du thermomètre à mercure déterminent les physiciens à l'employer dans presque toutes les expériences. Il est donc nécessaire de com-

DE PHYSIQUE.



parer la marche de ces deux instrumens. Déjà M. Lussac a fait voir qu'ils sont d'accord entre la glace fondante et l'eau bouillante; MM. Dulong et Petit ont plus récemment poursuivi la même comparaison entre -36° et 360° . Voici les résultats qu'ils ont obtenus.

Températures indiquées par le thermomètre à mercure.	Températures indiquées par le thermomètre à air, et corrigées de la dilatation du verre.
-36°	-36°
0°	0°
100°	100°
150°	$148^{\circ},70$
200°	$197^{\circ},05$
250°	$245^{\circ},05$
300°	$292^{\circ},70$
360°	350°

L'importance de la connaissance des dilatations a été assez démontrée par la comparaison que nous avons faite des différens thermomètres; il ne nous reste plus qu'à citer quelques applications aux arts.

Pendule compensateur.

71. On sait que la dilatation et la contraction des métaux opérées par les variations de température, sont les causes principales de l'irrégularité du mouvement des horloges. Si la verge du pendule s'allonge, l'horloge retarde, elle avance dans le cas contraire. La longueur d'un pendule est la distance entre le point de suspension et le centre de gravité de toute la masse. On peut combiner les métaux de manière à compenser les effets de la chaleur.

Le pendule, employé généralement en France aujourd'hui, a la forme qu'indique la figure 49. La verge du pendule est formée par deux métaux, le fer et le cuivre; la dilatation, la contraction des tiges de fer, désignées par la lettre s , tendent à faire allonger ou à raccourcir la longueur du pendule: les tiges de cuivre, comme le fait assez voir la figure, produisent un effet opposé. Par le calcul, on sait que les longueurs totales des tiges doivent être en raison inverse des dilatations linéaires des deux métaux; on satisfait d'abord à cette première condition, ensuite on achève la compensation par le tâtonnement, en portant le pendule à différentes températures de la glace à l'eau bouillante.

Graham, célèbre horloger anglais, avait proposé de former la tige du pendule avec un tube de verre, et de le remplir en partie de mercure.

Comme la dilatation de ce métal est beaucoup plus grande que celle du verre, une quantité peu considérable suffisait pour compenser les changemens de la longueur du tube de verre; la figure 50 représente ce pendule compensateur. Le centre de gravité de toute la masse de ce pendule est dans la colonne de mercure, parce que son poids surpasse de beaucoup le poids du tube. Par l'élévation de température, la dilatation du tube fait baisser le centre de gravité; mais la colonne de mercure se dilatant davantage son centre de gravité monte. On voit qu'on pourrait établir par ce moyen un pendule bien compensé; il n'est pas en usage en France.

71. C'est encore en opposant la dilatation à elle-



même, qu'on est parvenu à donner au mouvement du chronomètre une constance et une régularité presque parfaites.

On emploie, dans ce dernier moyen de compensation, des lames doubles (*fig. 51*).

Si une lame semblable est formée d'une lame *AB* de cuivre et d'une lame de platine *CD*, et qu'au moyen de vis, on les fixe d'une manière invariable; si cette double lame a été ainsi formée à la température ordinaire, et qu'elle soit droite comme l'indique la figure, elle perdra cette rectitude, si la température change: par exemple, si la température s'élève, elle se courbera de manière que la lame de cuivre, le plus dilatable des deux métaux, ait une longueur plus grande (*fig. 52*); ce sera le contraire, si la température s'abaisse (*fig. 53*).

On conçoit maintenant que, si l'on adapte une pareille lame à la tige d'un pendule, et si l'on ajoute des petites masses aux deux extrémités, on pourra combiner la longueur des lames, le poids des masses, de manière que la distance entre le centre de suspension et le centre de gravité du système soit constante (*fig. 54*). MM. Biot et Mathieu ont suivi une horloge dont le pendule était ainsi compensé, et lui ont trouvé une grande régularité.

72. Dans les montres, le régulateur du mouvement est un balancier *AB*; ce balancier est mu par un ressort spiral *CA*: si la température change, la force du ressort, les dimensions du balancier et du ressort changent; et, par suite, la montre avance ou retarde. C'est pour éviter cet inconvénient qu'on a fixé des

lames compensatrices *p* et *R*, terminées par des masses en or; à force d'essais faits à des températures différentes, on finit par établir une compensation telle, que la montre marche toujours avec régularité.

73. MM. Breguet, dont les chronomètres sont si justement renommés dans toute l'Europe, ont fait une heureuse application des lames compensatrices à la construction d'un thermomètre qui jouit d'une extrême sensibilité.

La partie principale de cet instrument est une spirale (*fig.* 55), formée de trois lames très minces de métaux inégalement dilatables réunis par la pression à une haute température; les trois lames superposées, d'or, d'argent et de platine, ne forment ensemble qu'une épaisseur de $\frac{1}{50}$ de millimètre. La spirale est fixée par le haut à un support en laiton, qui, par sa forme, la laisse dans un isolement parfait. L'extrémité de la spirale porte une aiguille horizontale équilibrée par un poids; la spirale, composée de métaux qui diffèrent par leur dilatabilité, doit se tordre ou se détordre, suivant que la température a lieu dans un sens ou dans un autre, et entraîner dans son mouvement l'aiguille, qui parcourt les directions d'un cercle horizontal. Ce cercle est évidé dans le centre, afin que l'air n'éprouve aucun obstacle à se renouveler autour de la spirale.

Il suffirait, à la rigueur, dans la construction de la spirale, de superposer deux métaux, le platine et l'argent, par exemple; mais comme une semblable spirale éprouve des déchiremens dans les changemens brusques de température, MM. Breguet ont



évité cet inconvénient, en plaçant, entre le platine et l'argent, un troisième métal d'une dilatabilité moyenne : ils ont choisi l'or pur.

On connaît la valeur de chaque degré de cet instrument, en comparant sa marche à celle d'un bon thermomètre à mercure. L'expérience prouve que l'aiguille, pour des changemens égaux de température, parcourt des arcs égaux ; de sorte que cet instrument est comparable avec lui-même et avec les autres instrumens construits d'après les mêmes principes. Pour donner une idée de la prodigieuse sensibilité de ce thermomètre métallique, nous rapporterons quelques expériences.

MM. Breguet le placèrent sous un récipient de cinq litres de capacité, à la température de 19 degrés centigrades : ils y firent le vide aussi promptement que possible ; le thermomètre à mercure ne descendit que de 2 degrés, tandis que l'aiguille de la spirale passa de $+ 19^{\circ}$ à $- 4^{\circ}$ centigrades. Ils laissèrent ensuite rentrer l'air ; l'index alla jusqu'à $+ 50^{\circ}$ centigrades, tandis que le thermomètre à mercure descendait encore un peu, tant il avait mis de lenteur à prendre la température de l'air raréfié. Cette sensibilité, déjà très grande, peut être portée encore plus loin, en agrandissant les dimensions de la spirale, sans en augmenter la masse. (*Ann. ch. et phys.* t. 5.)

Changement d'état des Corps.

74. Les corps, en général, peuvent se présenter sous les trois états : solide, liquide, gazeux. Par exemple,

DE L'HYGROMÉTRIE.

123. Le but qu'on se propose dans l'*hygrométrie* est la recherche des différens degrés d'*humidité* de l'air. Les instrumens employés à cet effet sont appelés *hygromètres* ou *hygroscopes*.

Dans les temps où l'air paraît le plus sec, il renferme beaucoup de vapeur; pour la ramener à l'état liquide, on n'a qu'à remplir un vase d'un mélange de glace et de sel, et bientôt presque toute la vapeur aqueuse contenue dans l'air se déposera sur les parois du vase à l'état de glace. Dans la plupart des circonstances, il suffit même de placer dans l'air une carafe remplie d'eau froide, pour qu'elle se couvre d'humidité au bout de quelques minutes.

124. Si l'air était complètement saturé de vapeur d'eau, on pourrait par les tables en connaître la quantité. Supposons par exemple que la température soit à 11 degrés; la table (n^o 91) donnera 10^{mm} pour la force élastique de la vapeur d'eau à cette température, de sorte que, abstraction faite du rapport des densités, un litre d'air contiendrait un litre de vapeur à 10^{mm} de pression, ce litre pèserait $\frac{1^{\circ}}{76^{\circ}}$ ou $\frac{1}{76}$ de 1^s,29 poids d'un litre d'air ou 0^s,017. Mais la densité de la vapeur d'eau, sous la même pression, n'est que le $\frac{1^{\circ}}{16^{\circ}}$ de celle de l'air; il faudrait donc réduire ce poids dans le rapport $\frac{1^{\circ}}{16^{\circ}}$; ce qui donnerait 0^s,0106. Ce petit calcul suffit pour mettre le lecteur en état de déterminer la quantité absolue de



vapeur dans un volume d'air connu supposé à l'état de saturation ; il est seulement indispensable, pour que le calcul soit correct, de tenir compte de l'effet de la dilatation sur l'air, c'est-à-dire de diviser le poids 1,299 d'un litre à zéro par le nombre $1 + 0,00375 \times t$; 0,00375 étant le coefficient de dilatation des gaz et t la température de l'air.

125. On peut toujours par des expériences directes déterminer la quantité absolue de vapeur contenue dans l'air, quel que soit son degré de saturation. Pour cela il suffit de le mettre en contact avec un poids connu de chlorure de calcium, de chaux ou de toute autre matière très avide d'eau. Ce procédé est susceptible d'une grande précision. On se propose dans l'hygrométrie non pas de connaître d'une manière absolue la quantité d'eau contenue dans l'air, mais seulement son degré d'humidité ; nous verrons d'ailleurs que sans expériences et seulement avec la connaissance du degré de l'hygromètre et du thermomètre on parvient au même résultat définitif que par des expériences très longues et très pénibles. Toutes les substances exposées à l'air libre changent dans leurs dimensions et dans leur poids : ainsi les cordes à boyaux, employées dans les instrumens de musique, changent de tension et de ton ; le papier, le parchemin, perdent leur élasticité ; les barbes de certaines graminées, les cheveux lessivés éprouvent des changemens considérables, le verre lui-même augmente de poids d'une manière bien sensible, comme Fontana et M. Gay-Lussac l'ont constaté.

126. On pourrait donc avec les diverses substances

convenablement disposées reconnaître le plus ou moins grand degré d'humidité de l'air; les instrumens construits à cet effet sont en petit nombre : les deux principaux sont l'hygromètre à cheveu de Saussure et l'hygromètre à baleine de Deluc.

127. Commençons par l'hygromètre à cheveu; il a précédé celui de Deluc, il date de 1778, il est d'ailleurs plus généralement employé.

La partie principale de l'hygromètre de Saussure est un cheveu; mais le cheveu dans l'état naturel est recouvert d'une matière grasse qui le défend jusqu'à un certain point de l'action de l'humidité; les variations qu'il éprouve dans cet état ne sont pas régulières; il faut donc le préparer. Après avoir fait choix des cheveux les plus doux, on en forme un paquet de la grosseur d'un tuyau de plume; on le fait bouillir pendant vingt à trente minutes dans une eau contenant un centième de carbonate de soude; les cheveux sont ensuite lavés et séchés. Ils doivent paraître doux, transparens, brillans. La dilatation des cheveux bien préparés est de $\frac{1}{50}$ de la longueur depuis la sécheresse extrême jusqu'à l'humidité extrême, tandis que les cheveux non dépouillés de leur matière grasse ne se dilatent que de $\frac{1}{200}$, et encore d'une manière irrégulière.

Le cheveu ainsi préparé est fixé à sa partie supérieure par le moyen d'une pince *d*, et est roulé autour d'un axe horizontal, à cet axe est attachée une aiguille dont les mouvemens sont mesurés sur un cercle gradué. Le cheveu est tenu vertical par un contre-poids de 16 centigrammes = 3 grains, sus-



pendu à un fil de soie enroulé sur le même cylindre; quand par l'absorption d'une petite quantité d'eau de l'air le cheveu s'allonge, le contre-poids fait tourner le cylindre et par suite l'aiguille; par cette disposition, une variation très petite dans la longueur du cheveu, devient sensible par le mouvement beaucoup plus considérable qu'elle occasionne dans l'aiguille (*fig. 72*).

128. Pour rendre comparables tous les hygromètres construits sur les mêmes principes, Saussure prend deux termes fixes, dont l'un est celui de l'extrême humidité et l'autre celui de l'extrême sécheresse. Il détermine le premier en plaçant l'hygromètre sous un récipient de verre sous lequel il y a de l'eau et dont il mouille les parois, l'air sous ce récipient est nécessairement saturé. Le cheveu s'allonge, et au bout d'une heure, il est arrivé à l'humidité extrême, il note le point où s'arrête l'aiguille; il porte ensuite l'instrument sous une autre cloche aussi petite que possible; il emploie le carbonate de potasse, sel très avide d'eau, pour matière desséchante; il prend un morceau de tôle de fer, qui peut entrer sous la cloche, qui occupe toute la hauteur et la moitié de sa largeur. Il la couvre de carbonate de potasse et la chauffe jusqu'au point de la faire rougir; à ce point il la laisse refroidir assez pour que son contact n'occasionne pas la rupture de la cloche; il place cette tôle ainsi garnie sous la cloche avec l'hygromètre et il le laisse dans cette position jusqu'à ce que l'aiguille soit stationnaire. Au moment où l'hygromètre est renfermé avec le carbonate de potasse,

il marche au sec avec une grande rapidité, au point de faire vingt-cinq degrés dans les dix premières minutes ; mais peu à peu sa marche se ralentit et il fait sur la fin à peine un degré en vingt-quatre heures. Si le sel est convenablement préparé, l'hygromètre se fixe au bout de trois jours. Ce point est marqué zéro ou la sécheresse extrême, l'intervalle entre les deux termes fixes vaut cent parties, chaque partie prend le nom de degré : (Essais sur l'hygrométrie 13 — 15 — 23). Il y a cette différence entre l'hygromètre et le thermomètre, en ce que les deux points fixes du premier répondent à deux états absolus, tandis que les deux points fixes du second consistent en deux limites prises au milieu d'une série de points qui s'étend indéfiniment au dessus et au dessous de ces limites.

129. Plaçons maintenant l'hygromètre dans une masse d'air. L'action du cheveu sur la vapeur d'eau est tout-à-fait semblable à celle des substances dessicatives. Il absorbe les vapeurs jusqu'à ce que son affinité affaiblie ne puisse plus les précipiter. Supposons d'abord que l'espace soit complètement saturé de vapeur, on observe que l'hygromètre marque l'humidité extrême, quelle que soit d'ailleurs la température : puisque le cheveu, dans les diverses circonstances, s'allonge de la même quantité, il absorbe la même quantité d'eau. La quantité pondérable de vapeur est cependant d'autant plus grande que la température est plus élevée ; mais la plus légère force suffit pour précipiter la vapeur d'un espace saturé ; l'action du cheveu est une force de ce genre ; et comme la quantité qu'exige le cheveu pour sa satu-

ration est très petite relativement à celle qui se trouve dans l'air, il doit en prendre la même quantité quelle que soit la température: voilà pourquoi il marque constamment le même point dans un air saturé. Nous faisons ici abstraction des changemens que la chaleur produit dans les dimensions du cheveu.

130. Supposons que l'espace ne soit pas complètement saturé, une force très faible ne serait plus suffisante pour précipiter la vapeur, puisqu'elle peut résister à un certain degré de pression et à un certain degré de refroidissement. Il en résulte que l'effet du cheveu s'arrêtera au moment où l'action qu'il exerce sur les vapeurs est égale à la force de pression nécessaire pour les précipiter.

131. D'après tout ce qu'il vient d'être dit sur l'hygromètre, on voit que cet instrument n'indique que le plus ou le moins d'humidité de l'air et nullement la quantité absolue de vapeur; il serait donc d'une grande importance de connaître les rapports entre les divers degrés de l'hygromètre, et les quantités d'eau correspondantes. Ce travail avait été entrepris par de Saussure (*Essais*—96); il renfermait un hygromètre dans un ballon contenant un volume connu d'air sec, il y plongeait un linge mouillé et déterminait la perte du poids du linge, pour que l'instrument marchât d'un nombre déterminé de degrés. Ou bien il mettait de l'air primitivement saturé et le portait à divers degrés de sécheresse, en observant en même temps la marche de l'hygromètre. Nous ne rapporterons pas les tables qu'il a ainsi construites, parce qu'elles ne présentent pas une grande exactitude



nous nous bornerons à dire qu'il avait remarqué que l'effet de l'humidité sur le cheveu est d'autant moins grand qu'il approche plus du point de la saturation. M. Gay-Lussac a repris le même travail et a suivi une méthode qui est à la fois simple et ingénieuse. Cette méthode consiste à placer l'hygromètre sous une grande cloche à pied en partie remplie d'eau pure ou d'acide sulfurique, convenablement concentré, et dont il a préalablement déterminé la tension dans le vide, à la même température.

L'hygromètre est fixé à un disque de verre, qui est luté hermétiquement. Bientôt l'hygromètre se met en équilibre avec les vapeurs contenues dans l'air et s'arrête à un certain degré de sa division. On note exactement la température, et c'est à cette même température qu'on prend la tension dans le vide (N° 91). En répétant la même épreuve à la même température et avec de l'acide sulfurique à différens degrés de concentration, on aura autant de termes qu'on voudra, de la correspondance de l'hygromètre à la tension de la vapeur. Ce rapport étant déterminé, il suffit de la densité $\frac{10}{16}$ de la vapeur pour connaître le poids absolu de l'eau contenue dans l'air. (Voyez commencement de l'hygrométrie).

Les tables suivantes résultent d'expériences faites à la température de dix degrés. On pourrait étendre l'usage de ces tables à toute autre température. Cependant il est bon d'avertir que le résultat de cette proportionnalité indiquerait une quantité de vapeur un peu trop faible au dessus de 10, et un peu trop forte au dessous. Car nous avons vu que les forces

DE PHYSIQUE.

élastiques des vapeurs croissent plus rapidement que les températures.



TENSIONS de la vapeur	DEGRÉS de l'hygromètre à cheveu.	TENSION de la vapeur.	DEGRÉS de l'hygromètre à cheveu.	TENSION de la vapeur.	DEGRÉS de l'hygromètre à cheveu.
0	0,00	34	57,42	68	84,06
1	2,19	35	58,58	69	84,64
2	4,37	36	59,61	70	85,22
3	6,56	37	60,64	71	85,77
4	8,75	38	61,66	72	86,31
5	10,94	39	62,69	73	86,86
6	12,93	40	63,72	74	87,41
7	14,92	41	64,63	75	87,95
8	16,91	42	65,53	76	88,47
9	18,91	43	66,43	77	88,99
10	20,91	44	67,34	78	89,51
11	22,81	45	68,24	79	90,03
12	24,71	46	69,03	80	90,55
13	26,61	47	69,83	81	91,05
14	28,51	48	70,62	82	91,55
15	30,41	49	71,42	83	92,05
16	32,08	50	72,21	84	92,54
17	33,76	51	72,94	85	93,04
18	35,43	52	73,68	86	93,52
19	37,11	53	74,41	87	94,00
20	38,78	54	75,14	88	94,48
21	40,27	55	75,87	89	94,95
22	41,76	56	76,54	90	95,43
23	43,26	57	77,21	91	95,90
24	44,75	58	77,88	92	96,36
25	46,24	59	78,55	93	96,82
26	47,55	60	79,22	94	97,29
27	48,86	61	79,84	95	97,75
28	50,18	62	80,46	96	98,20
29	51,49	63	81,08	97	98,69
30	52,81	64	81,70	98	99,10
31	53,96	65	82,32	99	99,55
32	55,11	66	82,90	100	100,00
33	56,27	67	83,48		

DEGRÉS de l'hygromètre à cheveu.	TENSIONS de la vapeur.	DEGRÉS de l'hygromètre à cheveu.	TENSIONS de la vapeur.	DEGRÉS de l'hygromètre à cheveu.	TENSIONS de la vapeur.
0	0,00	34	17,10	68	44,89
1	0,45	35	17,68	69	46,04
2	0,90	36	18,30	70	47,19
3	1,35	37	18,92	71	48,51
4	1,80	38	19,54	72	49,82
5	2,25	39	20,16	73	51,14
6	2,71	40	20,78	74	52,45
7	3,18	41	21,45	75	53,76
8	3,64	42	22,12	76	55,25
9	4,10	43	22,79	77	56,74
10	4,57	44	23,46	78	58,24
11	5,05	45	24,13	79	59,73
12	5,52	46	24,86	80	61,22
13	6,00	47	25,59	81	62,89
14	6,48	48	26,32	82	64,57
15	6,96	49	27,06	83	66,24
16	7,46	50	27,79	84	67,92
17	7,95	51	28,58	85	69,59
18	8,45	52	29,38	86	71,49
19	8,95	53	30,17	87	73,39
20	9,45	54	30,97	88	75,29
21	9,97	55	31,76	89	77,19
22	10,49	56	32,66	90	79,09
23	11,01	57	33,57	91	81,09
24	11,53	58	34,47	92	83,08
25	12,05	59	35,37	93	85,08
26	12,59	60	36,28	94	87,07
27	13,14	61	37,31	95	89,06
28	13,69	62	38,34	96	91,25
29	14,23	63	39,36	97	93,44
30	14,78	64	40,39	98	95,63
31	15,36	65	41,42	99	97,81
32	15,94	66	42,58	100	100,00
33	16,52	67	43,73		

DE PHYSIQUE.



La première table donne le degré de l'hygromètre correspondant à la tension de la vapeur ; c'est le contraire pour la seconde.

Si l'on voulait faire usage de ces tables pour une application numérique, il faudrait prendre 9^{mm},48 pour la tension maximum de la vapeur d'eau à 10°. Le nombre 9^m,48 est représenté par 100 dans la colonne des tensions.

132. Ces tables montrent qu'il n'existe aucune proportionnalité entre l'allongement du cheveu et le degré d'humidité de l'air.

Degré de l'hygromètre.	Eau de l'air.
0	0
	$\frac{1}{10}$
22	$\frac{2}{10}$
	$\frac{3}{10}$
29	$\frac{4}{10}$
	$\frac{5}{10}$
53	$\frac{6}{10}$
	$\frac{7}{10}$
64	$\frac{8}{10}$
	$\frac{9}{10}$
72	$\frac{10}{10}$
	$\frac{10}{10}$
79	$\frac{10}{10}$
	$\frac{10}{10}$
85	$\frac{10}{10}$
	$\frac{10}{10}$
90	$\frac{10}{10}$
	$\frac{10}{10}$
95	$\frac{10}{10}$
	$\frac{10}{10}$
100	$\frac{10}{10}$

133. Dans tout ce qui précède nous n'avons pas eu égard à l'effet pyrométrique. Par exemple, si l'air dans lequel est placé l'hygromètre, subit une élévation de température, sans recevoir de nouvelles vapeurs, l'évaporation d'une partie de l'eau du cheveu tend à le raccourcir, d'un autre côté il s'échauffe et s'allonge : de sorte qu'on n'observe que la différence, le degré d'évaluation étant supposé le même. De Saussure (*Essais sur l'hygromètre* 81) a construit une table qui, si elle n'est pas parfaitement exacte, est au moins une indication approximative des effets de la chaleur. Il a formé cette table en observant le changement de l'hygromètre, porté à différens degrés de son échelle par une variation d'un degré dans le milieu environnant.

Température	Humidité	Température	Humidité
0	100	10	95
1	100	20	85
2	100	30	75
3	100	40	65
4	100	50	55
5	100	60	45
6	100	70	35
7	100	80	25
8	100	90	15
9	100	100	5

Table des différentes variations qu'un degré de chaleur produit dans l'hygromètre à cheveu, suivant le degré d'humidité qu'il indique.

Degrés de l'hygromèt. de	Variations pour un degré de chaleur.	Degrés de l'hygromèt. de	Variations pour un degré de chaleur.	Degrés de l'hygromèt. de	Variations pour un degré de chaleur.
25	0,450	50	1,283	75	2,145
26	0,483	51	1,316	76	2,196
27	0,517	52	1,350	77	2,251
28	0,550	53	1,383	78	2,311
29	0,583	54	1,416	79	2,374
30	0,616	55	1,450	80	2,441
31	0,650	56	1,483	81	2,494
32	0,683	57	1,516	82	2,545
33	0,716	58	1,550	83	2,594
34	0,750	59	1,583	84	2,642
35	0,783	60	1,616	85	2,689
36	0,816	61	1,650	86	2,734
37	0,850	62	1,683	87	2,777
38	0,883	63	1,716	88	2,819
39	0,916	64	1,750	89	2,860
40	0,950	65	1,783	90	2,899
41	0,983	66	1,816	91	2,937
42	1,016	67	1,850	92	2,973
43	1,050	68	1,883	93	3,008
44	1,083	69	1,916	94	3,042
45	1,116	70	1,950	95	3,074
46	1,150	71	1,983	96	2,427
47	1,183	72	2,016	97	1,780
48	1,216	73	2,054	98	1,552
49	1,250	74	2,098	99	1,324
				100	1,096

134. A l'inspection de cette table, on voit que les variations de l'hygromètre suivent une marche régulière depuis le 25^e degré de l'échelle jusqu'au 72^e; elles croissent ou décroissent en progression arithmétique dont la raison est un trentième. Faisons une application de cette table à un exemple: dans

une plaine, l'hygromètre marque 50 degrés, à la température de 15° Réaumur. Le même instrument porté sur une montagne voisine, où la température est 8°, marque 56 degrés. On demande lequel des deux lieux est le plus humide au 50° de l'hygromètre; un abaissement d'un degré du thermomètre fait varier l'hygromètre de 1,3; il ne s'agit que de prendre la somme de la progression dont le premier terme est 1, 3, la raison $\frac{1}{30}$ et le nombre des termes 7, et l'on trouve 9°,8. Ainsi l'hygromètre devrait marquer sur la montagne au moins 59,8. Il n'y marque que 56, l'air renferme donc moins d'eau.

135. Disons un mot des autres hygromètres. Celui des académiciens del Cimonto était un vase de forme conique, plein de glace ou de neige, suspendu la pointe en bas; les vapeurs de l'air se condensent sur sa surface; elles tombent sous forme de gouttes, et, par la fréquence des gouttes, on juge du plus ou moins grand degré d'humidité de l'air.

136. Leroi emploie un moyen plus simple, et qui a fixé l'attention des physiciens dans ces derniers temps; il remplit un verre d'eau, et par une addition graduée et successive d'eau à zéro, il finit par précipiter la vapeur sur les parois extérieures du verre, et note avec soin la température à laquelle la précipitation commence.

De Saussure répète ce procédé, et ne le croit pas propre à donner des résultats bien certains. Cependant, M. Dalton, qui l'a soumis à un grand nombre d'épreuves, assure que la vapeur commence à condenser sur la surface du verre lorsque la tem-

pérature est abaissée seulement d'un demi-degré au dessous de celle que la vapeur de l'air peut supporter. Supposons qu'on connaisse avec exactitude la température de la précipitation de la vapeur, et que ce soit 12 par exemple; on cherchera dans la table des forces élastiques, on trouvera $10^m, 7$; supposons que la température de l'air non refroidi soit de 18° , on prendra dans la même table la force élastique correspondante $15^{mm}, 4$; on pourra ainsi estimer la quantité de vapeur qui manque à l'air pour sa saturation complète.

137. M. Leslie a proposé un hygromètre qui n'est autre chose qu'un thermomètre différentiel légèrement modifié. L'une des boules est couverte d'un linge clair mouillé; l'évaporation cause du froid, et la liqueur monte d'un certain nombre de degrés. Le temps nécessaire pour produire cet effet n'exède jamais deux minutes. La graduation de cet hygromètre se fait en déterminant le froid produit dans un air complètement dépouillé de vapeur d'eau. Cet instrument n'est pas si commode qu'on le croirait à la première inspection. On sait que le froid varie avec la température et avec la pression, de sorte qu'il est nécessaire d'avoir des tables du froid produit à diverses températures et à diverses pressions; par exemple, si l'on devait faire servir cet hygromètre sur une montagne, il faudrait y déterminer préalablement le froid maximum produit dans un air sec à la température et à la pression de cette montagne. Quoiqu'il en soit, cet hygromètre est simple et d'une construction facile, et a l'avantage de faire connaître

immédiatement la quantité de vapeur qui se trouve dans l'air, le froid étant proportionnel à l'évaporation et d'être moins altérable que les hygromètres construits avec des substances organiques. Il en résulte que si le froid dans une observation est la moitié du froid maximum, il manque à l'air la moitié de la vapeur qui lui est nécessaire pour sa saturation complète, et ainsi de suite.

138. M. Daniel Wilson a modifié un hygromètre proposé anciennement. Le physicien a remplacé la boule d'ivoire de cet instrument par une vessie de rat, convenablement préparée. Cette vessie est remplie de mercure, et est terminée par un tube de verre très capillaire. La graduation de cet instrument est comme celle de l'hygromètre de Deluc; il jouit, d'après M. Wilson, d'une grande sensibilité (*Ann. de ch. et de ph.*, 5^e).

139. L'hygromètre de Deluc est peu différent de celui de Saussure; il lui est un peu postérieur; le cheveu est remplacé par une bandelette de baleine très mince, et cette bandelette est tendue au moyen d'un ressort dont il préfère l'action à celle d'un poids. Pour déterminer la sécheresse extrême, il dessèche l'air par de la chaux fortement calcinée; quant à l'humidité extrême il l'obtient en plongeant la bandelette toute faite dans l'eau. Comme il y a une différence de plus de dix degrés entre l'imbibition et l'humidité extrême, et comme d'ailleurs cet instrument ne doit servir que dans l'air humide, on conçoit qu'il est préférable de le graduer comme celui de Saussure.

140. M. Dulong s'est occupé de la comparaison des hygromètres de Saussure et de Deluc; mais il a abandonné ses travaux au moment où M. Gay-Lussac a commencé les siens : il règne un accord parfait entre les observations de M. Gay-Lussac et celles de M. Dulong relatives à l'hygromètre à cheveu, comme on va le voir par le tableau suivant, extrait des observations originales de M. Dulong, et qui malheureusement sont égarées. Dans le tableau la densité de la vapeur à $13^{\circ}, 9$ pour la saturation complète est représentée par 100.

Densités de la vapeur à $13^{\circ}, 9$	Hygromètre de Deluc.	Hygromètre de Saussure.
0,0997	12,2	28
0,1980	18,0	44
0,2976	22,5	55
0,4876	31,8	75
0,5912	37,5	84
0,6844	45,5	91
0,7797	54,0	92
0,8774	58,0	97,5
0,9762	70,0	102

Si l'on compare les densités de la vapeur aux degrés de l'hygromètre, 55 et 92, 5, on trouve dans la table de M. Dulong 0,382 pour le rapport.

Si l'on compare aux mêmes degrés de l'hygromètre les tensions dans les tables fondées sur les expériences de M. Gay-Lussac, on a le même rapport 0,382.

141. Il résulte du tableau précédent que l'hygromètre de Deluc est plus sensible que celui de Saussure vers l'humidité extrême, ce qui est un avantage; car dans la nature l'air n'est jamais très rapproché de

la sécheresse extrême : ainsi Saussure n'a pas vu l'hygromètre au dessous de 40 , et il a remarqué qu'en général il tient à 60 degrés. Il paraît qu'à la surface de la terre le 30^e degré est le point le plus bas auquel se soit tenu cet instrument. Ainsi en général l'air renferme les quatre dixièmes de l'eau qu'il peut contenir.

TRAITE DE PHYSIQUE PART





DU BAROMÈTRE.

249. L'invention du baromètre est due à Torricelli. Ce savant disciple de Galilée, méditant sur la cause de l'ascension de l'eau dans les pompes, eut l'heureuse idée de comparer la hauteur du mercure dans un baromètre à la hauteur de l'eau dans les pompes, et il trouva que le rapport des deux hauteurs était le rapport inverse des densités, de sorte que l'eau qui pèse 13,586 fois moins que le mercure s'élève à une hauteur 13,586 fois plus grande. Torricelli conclut de ce fait que c'était réellement, comme il l'avait soupçonné, la pression de l'atmosphère qui déterminait l'eau et le mercure à s'élever jusqu'à ce qu'il y eut équilibre.

Cette importante découverte date de 1643. Dès l'année suivante, la nouvelle s'en répandit en France; l'expérience fut répétée, en 1646, par Mersenne et Pascal; l'année suivante, Pascal imagina de la rendre plus décisive en la faisant à différentes hauteurs. Il vit baisser le mercure, à mesure que le baromètre était porté à des hauteurs plus grandes. Perier qui fit, à l'invitation de Pascal, des essais semblables sur le Puy-de-Dôme, obtint le même résultat. L'explication de Torricelli fut donc pleinement confirmée; il fallut renoncer à l'idée de l'horreur de la nature pour le vide.

250. L'usage du baromètre est indispensable dans

une infinité d'expériences; nous avons déjà eu occasion de nous en servir plusieurs fois dans les parties précédentes de cet ouvrage.

Des différentes espèces de Baromètres.

251. Il existe trois sortes de baromètres : le baromètre à cuvette , le baromètre à syphon et le baromètre à cadran ; mais , comme nous le verrons tout à l'heure , ce dernier n'est qu'une application du baromètre à syphon.

Du Baromètre à cuvette.

252. Le baromètre à cuvette consiste en un tube de verre long d'environ trois pieds , fermé par un bout et ouvert par l'autre , et plongé verticalement par son extrémité ouverte dans une cuve remplie de mercure , de manière qu'une partie de ce mercure , en vertu du poids de l'atmosphère qui pèse sur la surface du bain , se tient à une certaine hauteur dans le tube. Pour que le mercure se tienne dans le tube , il faut d'abord le remplir complètement de ce métal , le boucher avec le doigt , et le renverser dans une cuvette. Le baromètre , ainsi formé , serait toujours imparfait , parce que le mercure se pénètre d'eau et d'air ; ces deux substances se dégageraient peu à peu et empêcheraient , par leur ressort , le mercure de monter à la hauteur à laquelle il monterait , si l'intérieur du tube était parfaitement vide ; le seul moyen de chasser tout l'air et toute l'humidité , c'est d'abord



de faire sécher, autant que possible, le tube de verre, d'y verser ensuite une petite quantité de mercure déjà bouilli, et de l'y faire bouillir de nouveau afin d'en chasser tout l'air qui aurait pu se mêler avec lui en le versant dans le tube : puis d'y verser une nouvelle quantité du même mercure, de le faire bouillir de nouveau, et de continuer ainsi la même série d'opérations jusqu'à ce que le tube soit complètement plein de mercure. Ensuite on renverse ce tube ainsi rempli de mercure complètement purgé d'air dans une cuve également remplie de mercure; le mercure contenu dans le tube descend jusqu'en un certain point où il se fixe bientôt, laisse au dessus de lui un espace complètement vide. Au reste l'opération précédente est laborieuse; elle demande de grandes précautions et en outre beaucoup d'habitude dans ces sortes d'expériences.

253. Il ne reste plus maintenant qu'à mesurer exactement la hauteur de la colonne barométrique. Or, comme on ne peut le faire qu'au moyen d'une échelle graduée, il faut que le zéro de cette échelle soit toujours de niveau avec la surface du mercure dans la cuvette : on voit donc qu'il faut rendre mobile ou l'échelle ou la cuvette. M. Fortin, dans la construction de ses baromètres qui sont sans contredit les meilleurs qu'on possède en France, rend la cuvette mobile, en lui donnant simplement un fond mobile, qui s'élève ou s'abaisse par le moyen d'une vis *A*, ce qui fait monter ou descendre le niveau extérieur du mercure dans la cuvette. Par ce moyen on peut toujours amener ce niveau tangentiellement à l'extrémité inférieure

d'une petite pointe d'ivoire *I* fixée invariablement, laquelle extrémité correspond au zéro de l'échelle. Cette échelle est fixe et tracée sur un tube de cuivre qui entoure et protège le tube barométrique, ce tube est fendu dans le sens de sa longueur afin que l'on puisse apercevoir la colonne de mercure. (*fig.* 96.)

Il est essentiel que l'instrument soit tenu dans une position verticale. Pour cela, on l'attache, par sa partie supérieure, à un point fixe et on le laisse pendre librement. En outre il est renfermé dans un étui qui se partage en trois parties. Quand on veut faire une observation, on ouvre l'étui, on le pose sur le sol, et le baromètre se met de lui-même dans la verticale.

Au moyen de cette monture, on observera donc avec la plus grande facilité la hauteur de la colonne de mercure dans le tube barométrique ; mais, pour que toutes les observations de ce genre soient comparables entre elles, il faudra les ramener à une même température, à zéro, par exemple : car, comme il est impossible d'opérer toujours absolument à une même température, on commettrait nécessairement des erreurs en comparant les observations entre elles sans avoir égard à la température. Or ici il faut avoir égard non seulement à la dilatation du mercure, mais encore à la dilatation du métal sur lequel est tracée l'échelle. La dilatation du mercure est cause que la hauteur observée est trop grande ; la dilatation de l'échelle au contraire rend la hauteur observée trop petite, car chaque division de l'échelle s'étant dilatée d'une certaine quantité, le nombre des divisions,



nécessaire pour égaler la hauteur de la colonne de mercure, est évidemment moindre à la température t , à laquelle on opère, qu'il ne le serait à 0° ; mais pour l'échelle, il est clair qu'il faut prendre seulement la dilatation linéaire puisqu'on ne considère que sa longueur, tandis que, pour le mercure, il faut avoir égard à la dilatation cubique. D'après cela, représentons par h la hauteur de la colonne de mercure observée dans le tube à une certaine température marquée par t , et supposons que a soit le coefficient $\frac{1}{5550}$ de la dilatation cubique du mercure. Comme les volumes sont en raison inverse des densités, et que les densités sont ici en raison inverse des hauteurs, il en résulte que les volumes sont proportionnels aux hauteurs. Si par conséquent nous représentons par 1 le volume de la colonne de mercure à 0° , $1+at$ sera le volume de cette même colonne à t degré, et la hauteur x du mercure à 0° sera donnée par la proportion $1 : 1+at :: x : h$, d'où l'on tirera $x = \frac{h}{1+at}$.

Soit de même a' le coefficient de la dilatation linéaire du cuivre : ici la hauteur observée sera en raison inverse de la longueur de l'échelle; or, si 1 est cette longueur à 0° , à t degré, elle sera $1+a't$; on aura donc la proportion;

$$1 : 1+a't :: \frac{h}{1+at} : x';$$

d'où l'on tirera enfin, pour la véritable hauteur du mercure à 0° , $x' = \frac{h(1+a't)}{1+at}$. Afin de connaître exactement la température de la colonne barométrique,

on dispose un petit thermomètre très sensible dans la monture même de l'instrument, et on note le degré que ce thermomètre indique au moment de l'observation. Il est visible en effet que la température de l'appareil ne peut pas changer sans que ce thermomètre, qui fait corps avec lui, n'éprouve le même changement.

Il est inutile d'avoir égard à la dilatation du tube de verre, puisque nous avons vu (n° 44) que la hauteur de la colonne du mercure dans le baromètre doit être indépendante de la largeur du tube.

Application.

Un baromètre dont l'échelle est en cuivre marque $0^m, 762$ à 22° au dessus de zéro.

$$3a' = \frac{1}{19400} \text{ pour chaque degré centigrade,}$$

$$a = \frac{1}{6350} \text{ idem,}$$

$$t = 22^\circ.$$

En substituant aux lettres les valeurs numériques dans la formule, on obtient $0^m, 759$ pour la hauteur ramenée à zéro.

Le baromètre à cuvette, construit par le procédé que nous venons d'indiquer, présente encore un grand avantage; c'est celui de pouvoir être transporté sans aucun inconvénient. Pour cela, on le renferme dans un étui convenablement disposé, après avoir élevé le fond mobile de la cuvette jusqu'à ce que le tube et le réservoir soient pleins. Par ce moyen, ce tube se trouvant complètement rempli de mercure, il est visible que, quelque secousse qu'il reçoive dans le voyage, il ne pourra pas être brisé par les



oscillations du mercure qu'il contient, et en outre l'air ne pourra s'y introduire en aucune façon, ce qui serait à craindre s'il y avait dans la partie supérieure du tube le moindre espace vide.

254. Deux baromètres semblables à celui qui vient d'être décrit, construits avec le même soin, n'indiquent pas la même hauteur dans le même lieu, si le diamètre des deux tubes n'est pas égal. Elle est d'autant moindre que le diamètre du tube est plus petit. Nous nous occuperons plus loin de la cause physique de ce phénomène : pour le moment, il nous suffit qu'on ait déterminé par l'expérience l'abaissement correspondant à différens diamètres, et qu'on ait construit une table avec les résultats. Nous rapporterons ici celle qui a été calculée par M. Laplace d'après des expériences précises.

Table des pressions du Mercure dans le Baromètre, dues à la capillarité.

Diamètre intérieur des tubes en millimètres.	Dépression en millimètres.
2.....	4,56
3.....	2,90
4.....	2,04
5.....	1,51
6.....	1,15
7.....	0,88
8.....	0,69
9.....	0,54
10.....	0,42
11.....	0,35
12.....	0,26
13.....	0,20

Suite de la Table des pressions du Mercure dans le Baromètre, dues à la capillarité.

Diamètre intérieur des tubes en millimètres.	Dépression en millimètres.
14.....	0,16
15.....	0,12
16.....	0,10
17.....	0,08
18.....	0,06
19.....	0,05
20.....	0,04

La dépression est indiquée dans cette table pour les divers diamètres que les tubes de baromètre peuvent avoir depuis deux jusqu'à vingt millimètres. Quand on observera la hauteur d'un baromètre, il faudra ajouter à la hauteur observée la dépression qui correspond au diamètre du tube. Si, par exemple, en supposant qu'on lise sur un tube barométrique de $0^m,002$ de diamètre intérieur une hauteur de $0^m,752$, cette hauteur ne sera qu'apparente, et pour avoir la véritable hauteur, il faudra y ajouter $0^m,0045$, ce qui donnera $0^m,7565$. De même, si sur un tube barométrique de $0^m,02$ de diamètre intérieur, on lisait une hauteur de $0^m,764$, on n'aurait la véritable hauteur de $0^m,764$ qu'autant qu'on ajouterait $0^m,0035$ à $0^m,764$, ce qui donnerait $0^m,76435$.

Du Baromètre à syphon.

255. Le baromètre à syphon, ainsi nommé à cause de sa forme, n'a pas de cuvette, ou plutôt le tube lui-même en tient lieu; il est recourbé par le bas en C,

et forme par conséquent deux branches CA , CB .

Pour obtenir cette disposition, on prend un tube le plus cylindrique possible, fermé par un bout et ouvert par l'autre. On lui donne la forme d'un syphon en le courbant à la lampe d'émailleur, et l'on fait en sorte que l'extrémité ouverte appartienne à la branche la plus courte, l'autre branche ayant plus de 28 pouces. Ensuite on fait sécher le tube, on y introduit une assez grande quantité de mercure déjà bouilli, en le versant peu à peu et le faisant bouillir à chaque fois, comme pour le baromètre à cuvette, tant pour qu'il ne reste point d'air au dessus du mercure dans la branche fermée, que pour qu'il ne s'en trouve point de mêlé avec le mercure même. Cela posé, si B est le point où le mercure monte dans la branche fermée, et A celui où il se tient dans la branche ouverte, il est évident que la différence AB des niveaux de ces deux colonnes de mercure est la colonne de mercure soutenue par l'atmosphère qui presse en A , et par conséquent sa longueur peut tout aussi bien représenter le poids de l'atmosphère que la colonne de mercure dans le baromètre à cuvette. Mais ici la longueur de cette colonne de mercure ne peut se mesurer qu'au moyen d'une échelle que l'on fait mouvoir parallèlement à la branche CB , de manière à amener le zéro de ses divisions au niveau de l'extrémité A de la colonne de mercure dans la plus courte branche.

(fig. 97.)

Le baromètre à syphon a surtout cet avantage sur le baromètre à cuvette d'être indépendant de l'action capillaire du tube; car les deux branches ayant sen-

siblement le même diamètre intérieur, puisque le tube rectiligne dont on les a formées a été choisi autant cylindrique que possible, les tendances à la dépression sont alors égales de part et d'autre, et se contrebalancent mutuellement. On peut aussi rendre cet instrument portatif, en apportant dans sa construction une légère modification. M. Gay-Lussac en faisant cette modification au baromètre, l'a rendu précieux pour les voyages. Nous emprunterons au mémoire même de M. Gay-Lussac la description de ce nouveau baromètre.

« Ce baromètre est du genre de ceux que l'on nomme *baromètres à syphon* : comme il n'a pas de cuvette, et que l'effet de la capillarité du tube se détruit dans les deux branches du syphon, on peut le rendre très léger; et comme il est sans robinet, sans piston, sans bouchon même, l'on peut faire une observation en moins d'une minute.

« Pour mieux faire concevoir ce qui caractérise le nouveau baromètre, dit M. Gay-Lussac, je le supposerai dépouillé de sa monture, qu'on peut varier d'ailleurs d'une infinité de manières (*fig. 99*).

« La figure 99 représente le tube barométrique dans sa situation propre à l'observation. *Nn* sont les deux niveaux du mercure; la grande branche *AB* est d'un égal diamètre jusqu'en *F*. En ce point, le tube *AF* est sondé avec un autre tube *FB C* fort en verre, dont le diamètre intérieur doit être de 1 à 2 millimètres. La petite branche *CD* du baromètre doit avoir le même diamètre que la partie *AF* de la grande. Elle est fermée en *D*; mais en *E*, à la distance

de 2 à 3 centimètres de *D*, se trouve un petit trou capillaire par lequel le mercure ne peut point s'échapper à moins d'une pression très grande, et qui néanmoins permet à l'air d'entrer dans la cuvette, et d'en sortir librement.

« La figure 100 représente le baromètre renversé : le mercure occupe la partie *CBFA* du tube : et l'excédant est logé en *D*. Il convient que cet excédant soit nul ou au moins très petit. On fait sortir aisément le mercure en tenant la branche *CD* horizontalement, le trou *E* en dessous ; le mercure étant au dessus du trou, on dilate l'air en chauffant la branche *CD*, et le mercure est alors expulsé. Si, au contraire, on veut faire rentrer du mercure dans le baromètre, on le plonge, dans la situation où le représente la figure 1^{re}, dans un bain de mercure jusqu'au dessus du trou *E*, et on incline le tube. L'air étant alors dilaté dans la branche *CD*, le mercure y rentrera, pourvu que la perte de l'élasticité de l'air soit plus grande que la longueur de la colonne dont le mercure s'abaisserait dans un tube dont le diamètre serait égal à celui du trou. J'ai supposé ici que le baromètre n'avait d'autre ouverture que le trou capillaire *E* ; mais il est bien plus facile de régler le baromètre pendant qu'il est ouvert en *D*.

« La figure 101 représente le baromètre dans la même position que la figure 102, avec cette différence seulement que la branche *BF A* est supposée vide de mercure depuis *B* jusqu'en *G*, ce qui peut arriver en imprimant au baromètre des secousses violentes. Dans ce cas, l'instrument ne pourrait plus servir si le

tube $CBGF$ avait un diamètre aussi grand que le tube AF , parce qu'en renversant l'instrument, l'air contenu en BG monterait nécessairement dans sa partie supérieure; mais si le tube $CBGF$ n'a au plus que 2 millimètres, comme je l'ai indiqué, la colonne GF du mercure ne pourra pas être divisée par l'air, et celui-ci sera expulsé par la chute du mercure lorsqu'on retournera le baromètre. Il arrivera même quelquefois que la colonne GA restera suspendue, quoique plus grande que la pression barométrique; mais en donnant une légère secousse à l'instrument de haut en bas, la colonne tombera aussitôt, et l'air contenu en BG sera chassé.

« Il y a donc deux choses qui caractérisent le nouveau baromètre : 1°. le petit trou capillaire E , qui laisse une libre circulation à l'air et empêche cependant le mercure de sortir; 2°. le tube CBF , d'un diamètre assez étroit pour que l'air ne puisse pas diviser la colonne de mercure, comme cela a lieu dans l'ingénieux baromètre conique d'Amontons.

« En construisant ce baromètre, il faut que l'artiste ait l'attention de ne point porter d'huile dans la branche BCD , soit en la fermant en D , soit en faisant le petit trou E . J'ai déjà dit que c'est l'huile ou tout autre corps gras qui est la cause de la poudre noire ou de la crasse qui se forme dans les baromètres, quand le mercure est d'ailleurs bien pur, et on ne saurait l'exclure avec trop de soin. J'ai fait faire plus de 500 lieues à mon baromètre; M. Descostils, dans un voyage en Italie, lui en a fait faire plus de 1200, et je puis affirmer que le mercure était aussi

DE PHYSIQUE.



net que le premier jour, malgré les secousses continues auxquelles il a été exposé dans une chaise de poste.

« On voit aisément pourquoi l'axe du tube AF n'est pas dans le prolongement de celui du tube FB : c'est afin que le centre de gravité de l'instrument soit sur cet axe lorsque l'instrument sera suspendu librement en A , figure 99.

.....

« Le transport de ce baromètre est très facile, et il ne pourra se déranger si l'on a l'attention de le tenir renversé, comme l'indiquent les figures 2 et 3, ou au moins incliné sous un angle de 15 à 30 degrés. J'ai annoncé qu'il ne fallait pas plus d'une minute pour l'observer; et en effet, il suffit de le renverser pour qu'il se prête immédiatement à l'observation.

« On peut le monter de beaucoup de manières : par exemple, le mettre dans une canne fendue dans toute sa longueur, et qui s'ouvre à charnière; mais je préfère l'enfermer dans un tube creux de métal, fendu dans une partie de sa longueur, comme l'indique la figure 4, et recouvert par un autre tube qui peut glisser longitudinalement ou tourner à léger frottement sur le premier. Si l'on adopte cette dernière construction, le tube extérieur doit être aussi fendu, pour laisser voir la colonne du mercure, ou la cacher, suivant que les fentes des deux tubes seront ou ne seront pas appliquées l'une sur l'autre.

« On peut encore, si l'on veut avoir un instrument peu dispendieux, tracer les divisions sur le verre même, et enfermer le tube barométrique dans

un tube de fer blanc qui s'ouvre à ses deux extrémités. Il n'est pas alors nécessaire de se servir d'un vernier, parce que les divisions étant près du mercure, on évite facilement l'effet de la parallaxe, et on peut, avec un peu d'habitude, évaluer à l'œil nu $\frac{1}{8}$ et même $\frac{1}{10}$ de millimètre, pourvu que l'on observe l'origine de la courbe du mercure. Enfin, si l'on voulait se conserver la facilité de nettoyer le tube *CD* (*fig.* 99), dans la crainte que le mercure ne se ternît à la longue, on pourrait se contenter de le fermer en *D* avec une peau ou avec un liége.

« La manière de se servir du nouveau baromètre ne présente aucune difficulté; on observe la hauteur de la colonne inférieure et celle de la colonne supérieure, et on les retranche l'une de l'autre. Si les deux branches sont d'un égal diamètre, il suffira d'observer la hauteur de la colonne supérieure, et de doubler les variations apparentes pour avoir les variations réelles. Lors même que les deux branches n'auraient pas un égal diamètre, on pourrait encore se contenter d'une seule observation, pourvu que l'on connût les vraies différences de niveau de centimètre en centimètre, parce que, dans l'intervalle, on pourrait regarder, sans erreur sensible, les deux branches comme ayant le même diamètre. Cet avantage, commun à tous les baromètres à syphon, est très précieux pour les voyages géologiques; car on fait d'autant plus d'observations qu'elles sont plus faciles à faire. »

*Du Baromètre à cadran.*

256. Le baromètre à cadran ne diffère du baromètre à syphon que nous venons de détailler, qu'en ce que, précisément au dessus de l'orifice ouvert de la plus courte branche, se trouve une petite poulie *A* parfaitement mobile, et dont le centre est fixé invariablement à celui d'un cadran derrière lequel est attaché le baromètre. Cette poulie correspond à une aiguille destinée à parcourir les divisions du cadran, et sa circonférence est entourée d'un fil, aux extrémités duquel sont suspendus deux petits poids *p*, *p'*, dont l'un pénètre dans l'intérieur du tube, et dont l'autre se trouve au dehors. Le poids extérieur *p'* sert de contre-poids au poids *p* qui est tangent à la surface du mercure, et le système de ces deux poids, qui est parfaitement mobile autour de la poulie *A*, est tel que le poids *p* ne fait que poser sur la surface du mercure, sans jamais le déprimer en aucune manière. (*fig.* 102.)

D'après cette disposition, il est clair que quand le mercure s'abaissera dans la branche ouverte et s'élèvera dans l'autre, c'est-à-dire quand l'atmosphère sera plus pesante qu'à l'ordinaire, le poids *p* tombera avec le mercure, et l'extrémité de l'aiguille viendra occuper la partie supérieure du cadran. Quand le mercure montera dans la plus courte branche, et s'abaissera dans l'autre, le poids *p* montera avec lui, et l'aiguille viendra se placer dans la partie inférieure du cadran : enfin, quand le mercure sera à

une hauteur moyenne, c'est-à-dire quand le poids de l'atmosphère sera moyen lui-même, l'aiguille prendra une position intermédiaire. Comme par une longue suite d'observations on a remarqué que, lorsque le mercure monte ou descend dans le baromètre, c'est ordinairement un signe de beau ou de vilain temps, on a marqué beau temps le point le moins élevé du cadran, mauvais temps le point le plus élevé, et variable le point intermédiaire.

Comme il y a dans les différentes parties du baromètre à cadran beaucoup de résistance à vaincre, il est bon, quand on veut l'observer, de le frapper doucement. Quoi qu'il en soit, ce baromètre ne doit pas être employé dans les observations qui exigent une grande exactitude.

257. On a reconnu que la hauteur la plus commune du baromètre au niveau des mers, lorsque le temps est calme, est $0^m, 760$ ou 28 pouces environ; c'est pourquoi c'est cette hauteur que l'on a choisie pour la hauteur moyenne. Mais il n'en est pas de même quand le temps est agité et voisin de la tempête; la hauteur du baromètre éprouve alors des variations continuelles.

258. Il ne nous reste plus maintenant qu'à faire connaître la manière dont on rassemble comparativement de longues suites d'observations sur la marche du baromètre. Le tracé graphique est le procédé le plus commode. On se sert pour cela d'une longue bande de papier, au milieu de laquelle on trace une ligne droite AB qui la traverse d'un bout à l'autre: on la divise en un certain nombre de parties égales desti-

nées à représenter des jours ; par les points de divisions, on élève des perpendiculaires prolongées indéfiniment au dessus et au dessous de cette droite , puis parallèlement à elle-même , et des deux côtés de cette ligne on en trace plusieurs autres à des distances égales (*fig.* 103).

Cela fait, lorsqu'on a observé le baromètre un certain jour, si la hauteur est moyenne, c'est-à-dire 0^m, 760, on marque le point *A* de la ligne principale qui correspond à ce jour-là. Si elle est plus haute d'un millimètre, par exemple, on monte à la première parallèle au dessus de *AB*; si elle est moindre, on redescend à la parallèle qui lui correspond au dessous de cette même ligne. On porte ainsi les observations de tous les jours successifs, chacun au rang et à la hauteur qui lui convient : par tous les points *A, b, c, d, e....*, on fait passer une ligne brisée *Abcde....* Cette ligne, par ses diverses sinuosités, représente fidèlement l'état du baromètre dans les époques successives auxquelles on a observé. C'est par l'inspection d'un pareil tableau que l'on voit que dans un grand nombre de cas, lorsque le baromètre a baissé, il est tombé de la pluie; et, au contraire, lorsqu'il s'est élevé, le temps est devenu serain. On aperçoit cependant par intervalles des exceptions à cette règle; mais elles sont beaucoup plus rares que les cas où elle se vérifie. C'est encore par une longue suite d'observations de ce genre qu'on a reconnu que le baromètre, malgré toute l'irrégularité de sa marche, est cependant généralement soumis à une cause qui le fait monter et des-



ceindre périodiquement à certaines heures du jour. Ainsi on a reconnu que le baromètre atteint son maximum de hauteur vers neuf heures du matin , après quoi il descend jusque vers quatre heures du soir où il atteint son minimum de hauteur. De là il recommence à monter jusque vers onze heures du soir, où il atteint de nouveau son maximum. Ensuite il redescend jusque vers quatre heures du matin où il atteint encore son minimum pour revenir à son maximum de hauteur vers neuf heures , et ainsi de suite ; ce qui résulte particulièrement d'observations faites en Amérique par M. de Humboldt, et en France par M. Ramond. Cette marche régulière est souvent troublée en Europe où l'état de l'atmosphère est très variable ; mais, sous tous les tropiques, la période est beaucoup plus constante, et à tel point que, d'après M. de Humboldt, le baromètre pourrait servir à indiquer l'heure du jour.

Des Machines pneumatiques.

DE PHYSIQUE.



263 ULTIMHEAT ©
AL MUSEUM



TABLE DES MATIÈRES.

	Page.
Notions préliminaires sur la matière, les lois du mouvement et la chute des corps.....	1
PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DES CORPS.....	<i>id</i>
De l'étendue.....	2
De l'impenétrabilité.....	3
De la porosité.....	4
De la divisibilité.....	5
De l'inertie.....	<i>id.</i>
De la pesanteur.....	6
Du mouvement uniforme et varié.....	7
Application à la pesanteur.....	9
Du mouvement curviligne.....	16
De la force centrifuge.....	18
Du pendule.....	23
Application du pendule à la pesanteur.....	26
Application du pendule aux horloges.....	28
De quelques machines simples.....	30
Du levier, de la balance.....	31
Du plan incliné.....	34
De la vis.....	36
De la poulie.....	37
Des propriétés générales des fluides.....	35
De l'équilibre des liquides incompressibles.....	38
Compressibilité des liquides.....	42
Mouvement des liquides incompressibles.....	44

	Page.
De quelques instrumens les plus communément employés.....	48
De la vis.....	50
Du comparateur.....	51
DE LA CHALEUR.....	53
Explication détaillée de la construction du thermomètre.....	53
Thermomètre différentiel.....	62
Propriétés les plus générales de la chaleur.....	63
DES DILATATIONS.....	67
Dilatation des gaz.....	68
— des liquides.....	71
— des solides.....	77
Pendule compensateur.....	85
CHANGEMENT D'ETAT DES CORPS.....	89
Conversion des liquides en vapeurs.....	64
Du froid produit par la fusion, ou des mélanges réfrigérens.....	102
Du froid produit par l'évaporation.....	104
DES VAPEURS.....	108
Forces élastiques.....	<i>id.</i>
Densités des vapeurs.....	119
Mélange des gaz.....	132
Mélange des vapeurs et des gaz.....	133
De l'évaporation.....	139
DE L'HYGROMETRIE.....	144
Différens hygromètres.....	<i>id.</i>
CAPACITES DES CORPS POUR LA CHALEUR..	160
Méthode des mélanges.....	162
Méthode du refroidissement.....	165
Capacité des gaz.....	170

DES MATIÈRES.



LOIS DU REFROIDISSEMENT.....	171
Refroidissement dans le vide.....	173
Refroidissement dans l'air et dans les gaz.....	175
De l'influence de l'état de la surface sur le rayonne- ment et la réflexion de la chaleur.....	179
De la rosée.....	187
Du froid observé pendant la formation de la rosée ...	189
Théorie de la formation de la rosée.....	190
Phénomènes qui ont du rapport avec la rosée.....	192
DE LA CONDUCTIBILITÉ DES SOLIDES.....	195
De la conductibilité des fluides.....	202
DES DENSITÉS.....	205
Densités des gaz.....	207
Des aérostats.....	211
Densités des liquides.....	213
Densités des corps solides.....	216
Des aéroètres.....	219
Du maximum de densité de l'eau.....	224
DE L'ATMOSPHÈRE.....	236
Gazomètres (<i>Voyez la fin de l'ouvrage, chaleur ani- male</i>).....	239
Du syphon.....	241
Du décroissement de la densité de l'atmosphère.....	243
DES BAROMETRES.....	245
Des différentes espèces de baromètres.....	246
Du baromètre à cuvette.....	<i>id.</i>
Du baromètre à syphon.....	252
Du baromètre à cadran.....	259
DES MACHINES PNEUMATIQUES.....	262
Des machines à compression.....	271
Du fusil à vent.....	277

	Page.
De la fontaine de compression.....	278
DES POMPES.....	280
De la fontaine intermittente.....	283
De la fontaine de héron.....	285
DES MACHINES A VAPEUR.....	287
DE L'ÉLECTRICITÉ.....	295
Notions préliminaires.....	<i>id.</i>
Des lois que suivent les actions électriques.....	305
Construction de la balance électrique.....	<i>id.</i>
Vérification de la loi.....	310
De la perte de l'électricité par l'air.....	319
Perte par les supports.....	328
Des machines électriques.....	333
Dispositions de l'électricité à la surface des corps isolés.....	338
Distribution du fluide électrique sur plusieurs corps en contact.....	349
Des électricités dissimulées. De leur séparation à distance.....	353
De l'électrophore.....	358
Des condensateurs.....	362
De la bouteille de Leyde.....	374
Charge par cascade.....	378
Des batteries électriques.....	379
Effets mécaniques de l'électricité.....	380
Des électroscopes.....	381
Electromètre condensateur.....	382
De la lumière électrique.....	385
Electricité atmosphérique.....	388
Des Paratonnerres.....	392
Du choc en retour.....	397

DES MATIÈRES.



	Page.
De l'électricité développée par le contact.....	398
Construction et théorie de la pile.....	402
Des piles secondaires.....	410
Effets chimiques de la pile.....	411
<i>Voyez la page</i>	491
Des substances qui ont, par rapport à l'électricité galvanique, une faculté conductrice particulière.	417
Electricité développée par la pression.....	420
De l'électricité développée par les phénomènes chimiques.....	422
De l'électricité développée par la chaleur.....	423
DU MAGNETISME	427
Propriétés générales des aimans.....	<i>id.</i>
De la loi que suivent les actions magnétiques.....	430
Des procédés d'aimantation	433
Méthode de la simple touche.....	<i>id.</i>
Méthode de la double touche.....	434
Des armatures	437
Distribution du magnétisme.....	438
Action du globe sur les aimans. — Déclinaison.....	442
De l'inclinaison	445
De l'intensité de l'action magnétique du globe	447
De l'action des aimans sur tous les corps naturels..	<i>id.</i>
Phénomènes électro-dynamiques.....	449
1 ^{er} fait. Action directrice	450
2 ^e fait. Action répulsive et attractive.....	452
Attraction et répulsion des courans électriques.....	453
Rotation continue.....	456
De l'action de la terre sur les conducteurs voltaïques.....	457
De l'aimantation produite par les courans élec-	

	Page.
triques.....	460
Du multiplicateur.....	<i>id.</i>
Description d'un appareil électro-dynamique.....	463
Expériences thermo-électriques.....	483
Dés poissons électriques.....	484
Historique.....	486
Notes.....	490 et 493
DE L'OPTIQUE.....	495
Propriétés de la lumière.....	<i>id.</i>
Transmission.....	<i>id.</i>
Décroissement de l'intensité.....	495
Vitesse.....	<i>id.</i>
Ombre.....	496
De l'influence de l'inclinaison de la surface.....	498
Comparaison des intensités de deux lumières.....	497
Réflexion de la lumière.....	499
Miroir plan.....	500
Miroirs courbes.....	502
Application numérique. — Miroirs concaves.....	503
Autre application. — Miroir convexe.....	507
Détermination des foyers.....	500
Emploi des miroirs pour exciter la combustion.....	<i>id.</i>
DE LA RÉFRACTION.....	508
<i>Voyez</i> la note page.....	632
Loi de la réfraction.....	509
Réfraction dans les milieux terminés par des sur- faces courbes.....	632 512
Application.....	515
Lentilles.....	511
Détermination des foyers.....	519

DES MATIÈRES.



Images produites par la réfraction à travers les len- tilles.....	517
Application aux lentilles.....	519
<i>Voyez</i> lentilles en échelons , page.....	572
Lentille biconcave.....	520
Des pouvoirs réfringens.....	523
Inégale réfrangibilité des rayons.....	529
DÉCOMPOSITION DE LA LUMIÈRE	528
Inégale réflexibilité des rayons.....	533
Propriétés calorifiques des rayons.....	534
Propriétés chimiques des différens rayons.....	536
Propriétés magnétiques.....	537
Propriétés éclairantes.....	537
DE LA VISION	539
Structure de l'œil.....	<i>id.</i>
Marche des rayons dans l'œil.....	540
Netteté de la vision à différentes distances.....	542
Unité de l'impression produite dans les deux yeux..	544
Usage des lentilles pour remédier au défaut de la vue chez les presbytes et les miopes.....	545
Appréciation de la distance.....	548
Estimation de la grandeur.....	<i>id.</i>
DE L'ARC-EN-CIEL	549
Largeur des deux arcs.....	555
DES PRINCIPAUX INSTRUMENS D'OPTIQUE ..	558
Loupe ou microscope simple.....	<i>id.</i>
Microscope solaire.....	559
Du mégascope.....	560
Chambre obscure.....	561
Microscope composé.....	562
Lunette astronomique.....	565

	Page.
Lunette terrestre, ou lunette à quatre verres.....	566
Lunette de Galilée.....	568
Télescopes catoptriques.....	569
Généralités sur les lunettes.....	571
Aberration de sphéricité.....	572
Lentilles en échelons.....	<i>id.</i>
Aberration de réfrangibilité.....	573
Lunettes achromatiques.....	574
Goniomètres.....	578
Goniomètre de Wollaston.....	580
Chambre claire.....	581
DOUBLE RÉFRACTION.....	582
Application de la double réfraction.....	692
Micromètre.....	<i>id.</i>
Mesure du grossissement dans les instrumens d'op- tique.....	594
DE LA POLARISATION DE LA LUMIÈRE.....	595
SYSTÈME DES ONDULATIONS.....	602
Principe des interférences.....	603
De la diffraction.....	611
Histoire expérimentale des anneaux colorés.....	615
Réflexion et réfraction de la lumière.....	625
HELIOSTAT.....	630
ACOUSTIQUE.....	634
Vitesse du son.....	636
Propagation du son.....	641
Réflexion du son.....	643
Lois des vibrations des corps sonores.....	644
Sons harmoniques.....	647
Expériences de Sauveur.....	<i>id.</i>
Expériences de Tartini.....	649

DES MATIÈRES.



Vibrations des verges solides.....	<i>id.</i>
Diapason.....	652
Vibrations des surfaces.....	653
Instrumens à vent.....	655
Théorie des instrumens à vent.....	658
Instrumens à anches.....	663
Organe de l'ouïe.....	664
Organe de la voix.....	667
TUBES CAPILLAIRES.....	671
MÉTÉOROLOGIE.....	676
Nuages.....	<i>id.</i>
Pluie.....	678
Rosée , <i>Voyez pag</i>	190
Gelée blanche.....	681
Brouillards.....	<i>id.</i>
Neige.....	682
Aérolithes.....	684
Aurore boréale.....	686
Vents.....	689
Températures des différens climats.....	692
Table des températures extrêmes observées dans différens lieux.....	699
Températures des deux hémisphères.....	700
Températures du globe à diverses profondeurs.....	701
Neiges perpétuelles.....	704
Températures des mers.....	707
Température moyenne du pôle nord.....	711
Sources de chaleur.....	712
— Percussion.....	714
— Frottement.....	715
— Combinaisons.....	716

	Page.
— Électricité <i>Voyez la page</i>	385
— Combustion.....	719
De la flamme.....	722
Du froid dans la dilatation.....	727
SOURCES DE LA CHALEUR ANIMALE.....	729
— Chaleur dégagée dans la combustion du carbone et de l'hydrogène.....	736
— Respiration.....	739
— Rapport entre la chaleur due à la respiration et à la chaleur totale émise par les animaux.....	747
— Description de l'appareil employé pour la me- sure de la chaleur animale.....	749

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

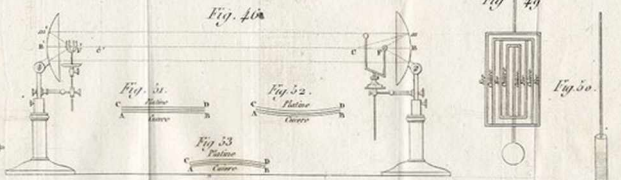
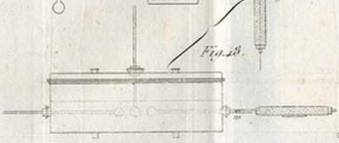
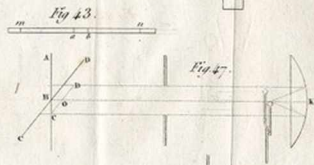
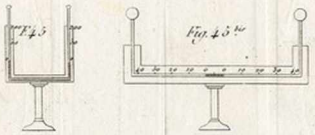
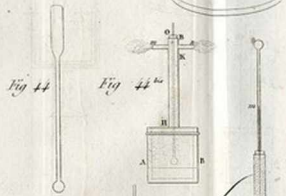
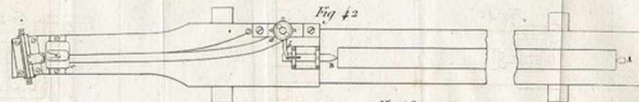
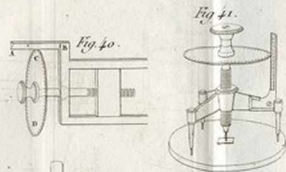
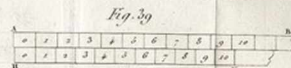
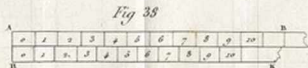
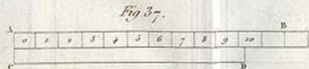
ERRATA.

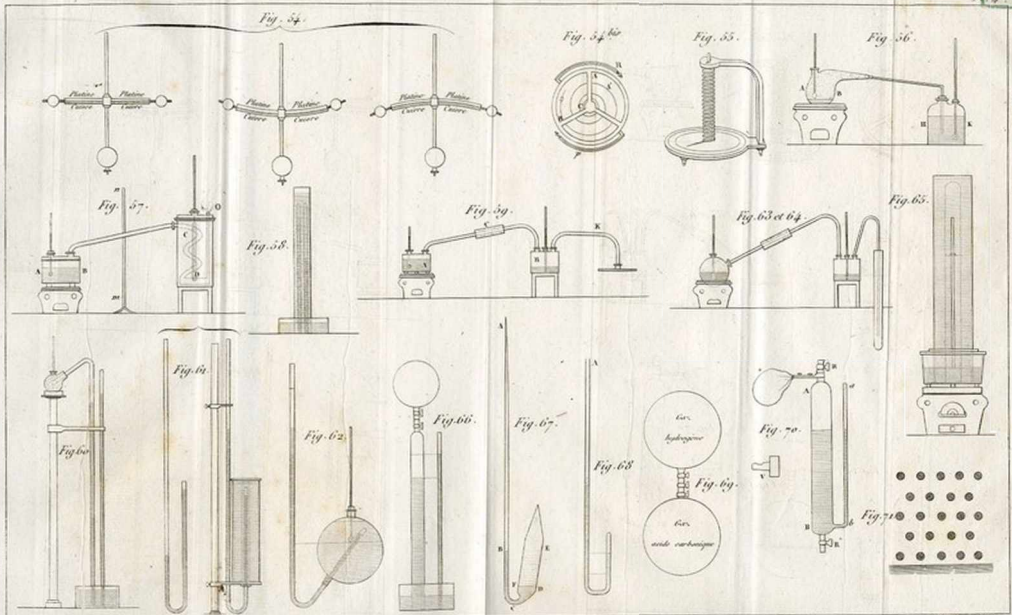


- Pag. 8 ligne 5, *CQ*. lisez *CM*.
 18 ajoutez figure 6.
 20 n° 21 figure 7, lisez figure 7 ter.
 49 ligne 17, deuxième *HK*, lisez deuxième de *HK*.
id. ligne 18, deuxième *AB*, lisez deuxième de *AB*.
 56 ligne 22, figure 42, lisez figure 43.
 64 ligne 6, ajoutez : la figure 46 le représente.
id. ligne 26, lumineux, lisez calorique.
 71 ligne 11 — $1 \times 0,00375$, lisez $1 + 0,00375$.
 la même correction dans la troisième ligne de la note.
 dans l'avant-dernière ligne de la note, lisez $1 + 0,00375t$,

$$\frac{V(1 + 0,00375t')}{1 + 0,00375t}$$

 72 dernière ligne, lisez $\frac{h' - h}{h} = \frac{V' - V}{V}$
 77 ligne 20, après distance ajoutez : un espace égal à 744
 lignes.
 87 n° 72, ajoutez figure 54 bis.
 93 quatrième accolade, effacez pour fondre.
 110 ligne avant-dernière, au lieu de valeur, lisez vapeur.
id. ligne 9, au lieu de pas, lisez à.
 112 ligne 10, plus que, effacez que.
 118 au lieu de Wallaston, lisez Wollaston.
 122 ligne 10, 0,700, lisez 791.
 136 note, deuxième ligne, *t* lisez *t'*.
 137 Dernière ligne de la note, séparez par une barre le nu-
 mérateur du dénominateur.
 142 ligne 3 — *f'*, lisez *f-f*.
id. ligne 6, effacez *f-f*.
id. ligne 13, *f'-f*, lisez *f-f*.
id. pour la ligne 14.
 153 ligne 7, 9^m, 48, lisez 9^{mm}, 48.
 156 delcimento lisez d'Elcimento.
 161 ligne 25, lisez ce que fond une même masse de glace.
id. ligne 16, lisez fig. 73.





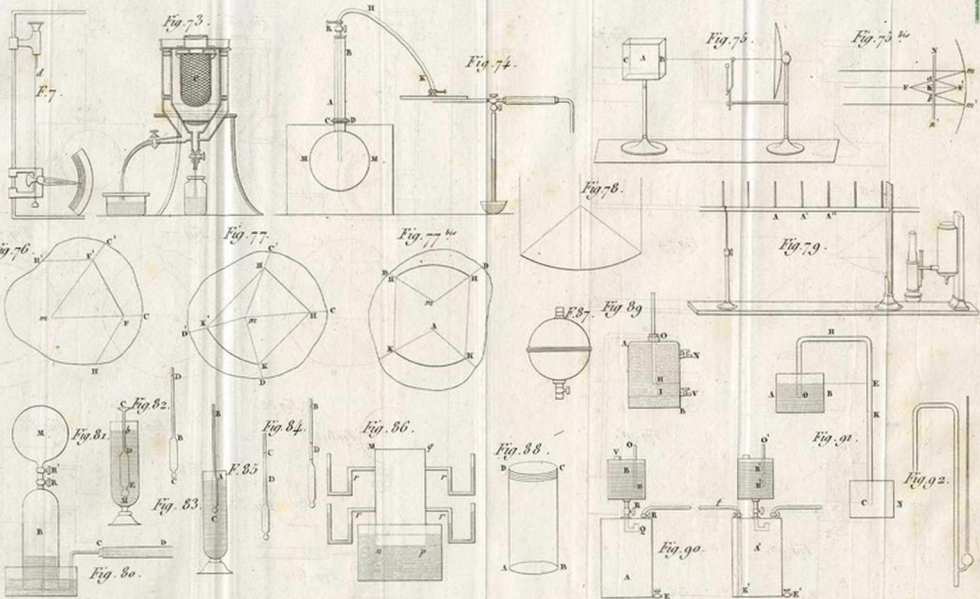


Fig. 93.



Fig. 94.



Fig. 103.

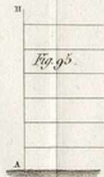
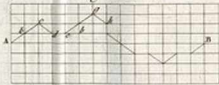


Fig. 95.

Fig. 96.



Fig. 97.



Fig. 99.



Fig. 100.

Fig. 101.

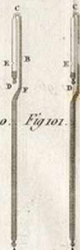


Fig. 102.

Fig. 104.

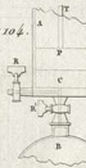


Fig. 105.



Fig. 106.

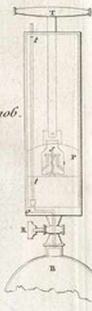


Fig. 110.

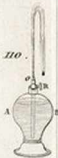


Fig. 107.

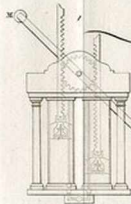


Fig. 111.

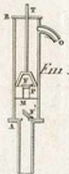


Fig. 107^{1/2}.

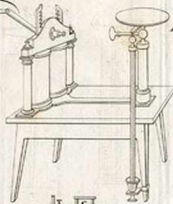


Fig. 112.

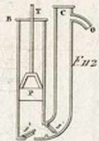


Fig. 108.



Fig. 108^{1/2}.

