

core leurs expériences, à les mûrir davantage, à mieux examiner encore le mode de combustion du gaz oxide de carbone, ainsi que le produit qui en résulte, et surtout à vouloir bien suspendre encore leur opinion à son égard jusqu'au moment très-prochain où notre travail relatif à ce corps intéressant pour les chimistes, sera rendu public.

RECHERCHES

Sur la dilatation des gaz et des vapeurs,
lues à l'Institut national, le 11 pluviôse
an 10.

PAR le **CH. GAY-LUSSAC**,

Élève-ingénieur de l'École nationale des Ponts et
Chaussées.

ARTICLE PREMIER.

Objet de ce Mémoire.

DEPUIS long-tems les physiciens se sont beaucoup occupés de la dilatation des gaz ; mais leurs travaux présentent de si grandes variations dans les résultats que, loin d'avoir fixé les opinions, ils laissent, au contraire, à désirer un examen plus rigoureux.

La dilatation des vapeurs a moins fixé l'attention des physiciens. Quoique l'on connût depuis long-tems les prodigieux effets de la vapeur de l'eau, et qu'on en eût fait les plus heureuses applications, Ziegler et Bettan-

court sont les seuls à ma connaissance, qui aient cherché à les mesurer. Leurs expériences ne peuvent cependant faire connaître la vraie dilatation de cette vapeur ; car y ayant toujours de l'eau dans leur appareil, il y avait pour un nouveau degré de chaleur, dilatation de la vapeur formée par les degrés de chaleur précédents, et augmentation de volume par la formation de nouvelles vapeurs, deux causes qui concouraient manifestement à élever le mercure dans leur manomètre (1).

Le thermomètre, tel qu'il est aujourd'hui,

(1) L'appareil de Bellancourt consiste dans une chaudière de cuivre fermée par un couvercle de même métal, au travers duquel passent trois tuyaux. Le premier sert à introduire l'eau dans la chaudière ; le second est traversé par la tige d'un thermomètre destiné à indiquer la température de la vapeur, et au troisième est adapté un tube barométrique recourbé pour mesurer l'élasticité de cette même vapeur. On fait le vide dans la chaudière avec une pompe pneumatique qui y communique par le moyen d'un tube à robinet.

L'appareil de Ziégler diffère peu de celui de Bellancourt ; mais Ziégler n'ayant pas fait, comme Bellancourt, le vide dans sa chaudière, il en résulte une grande différence dans leurs expériences et dans leurs résultats. (Architecture hydraulique de Prony, T. II.)

ne peut servir à indiquer des rapports exacts de chaleur, parce que l'on ne sait pas encore quel rapport il y a entre les degrés du thermomètre et les quantités de chaleur qu'ils peuvent indiquer. On croit, il est vrai, généralement, que des divisions égales de son échelle représentent des tensions égales de calorique ; mais cette opinion n'est fondée sur aucun fait bien positif.

Il faut donc avouer qu'on est encore bien éloigné d'avoir des connaissances certaines sur la dilatation des gaz et des vapeurs et sur la marche du thermomètre ; et cependant, on a besoin tous les jours, en physique et en chimie, de ramener un volume donné d'un gaz d'une température à une autre, de mesurer la chaleur dégagée, ou absorbée dans le changement de constitution des corps, celle dégagée, ou absorbée par le même corps en passant d'une température à une autre ; dans les arts, de calculer les effets d'une machine mue par le feu, de bien apprécier les dilatations de plusieurs corps ; en météorologie, de déterminer la quantité d'eau tenue en dissolution par l'air, quantité qui varie avec sa température et sa densité, et suivant une loi qu'on ne connaît pas encore. Enfin, dans la construction des tables de réfraction astrono-

mique , et dans l'application du baromètre à la mesure des hauteurs , il est indispensable de connaître exactement et la température de l'air et la loi de ses dilatations.

Quoique ces considérations fussent suffisantes pour faire désirer qu'on s'occupât d'un objet d'une utilité si générale , la difficulté des recherches qu'il nécessite m'aurait empêché de m'y livrer si je n'y avais d'ailleurs été fortement engagé par le cit. Berthollét , dont j'ai l'honneur d'être l'élève. Je lui dois les moyens nécessaires à l'exécution de ce travail dans lequel j'ai souvent été dirigé par ses conseils , et ceux du cit. Laplace : de si grandes autorités ajouteront à la confiance qu'il pourra inspirer.

Les recherches que j'ai entreprises sur la loi de la dilatation des gaz et des vapeurs , et sur la marche du thermomètre , n'étant pas encore complètes , je n'ai pour but dans ce mémoire que d'examiner la dilatation des gaz et des vapeurs pour une élévation déterminée de température , et de faire voir qu'elle est la même pour tous ces fluides ; mais avant de rendre compte de mes expériences , je crois devoir faire un précis historique de ce qu'on a fait sur cette matière ; et comme j'y joindrai en même tems , quelques observa-

tions sur chacun des moyens qu'on a employé , je vais le faire précéder de l'examen d'une des principales causes d'incertitude qui peuvent en imposer dans ce genre d'expériences. Quoiqu'elle soit très-importante et qu'elle semble être restée inconnue à la plupart des physiciens qui se sont occupés de la dilatation des gaz , il me suffira de l'énoncer pour en faire sentir toute l'influence. Ce que je dirai de l'air atmosphérique s'appliquera aux autres gaz.

Cette cause d'incertitude est due à la présence de l'eau dans les appareils. Qu'on laisse en effet quelques gouttes de ce fluide dans un ballon plein d'air dont on puisse élever la température jusqu'à celle de l'eau bouillante ; cette eau , en se convertissant en vapeurs , occupera un volume environ 1800 fois plus grand que son volume primitif , et chassera , par ce moyen , une très-grand partie de l'air renfermé dans le ballon. Il arrivera donc nécessairement que , lorsque ces vapeurs seront condensées ou qu'elles occuperont un volume 1800 fois plus petit , on attribuera à l'air restant dans le ballon une dilatation beaucoup trop forte ; parce que l'on supposera que c'est cet air qui , à la température de l'eau bouillante , occupait toute la capacité du ballon.

Si on ne porte pas la température jusqu'à ce degré, la même cause d'incertitude n'en existera pas moins, et son intensité sera relative à la température à laquelle on s'arrêtera : car dans ce cas, l'eau ne se vaporisera pas en entier, mais l'air en dissoudra de plus en plus à mesure que sa température s'élèvera, et il recevra, par conséquent, une augmentation de volume de plus en plus grande, outre celle qu'il recevra de la chaleur; de sorte que lorsqu'on passera à une température inférieure, le volume d'air qui occupait toute la capacité du ballon, diminuera par deux causes, 1^o. par la perte de son calorique, 2^o. par celle de l'eau qu'il tenait en dissolution. On attribuera donc encore à l'air une trop grande dilatation.

En général, toutes les fois qu'on renfermera avec des gaz, des liquides ou même des solides, par exemple, du muriate d'ammoniaque, qui puissent s'y dissoudre, ou se vaporiser à la température à laquelle on les exposera, il en résultera nécessairement des erreurs dans la détermination de la dilatation de ces gaz.

ART. II.

Précis historique de ce qu'on a fait sur la dilatation des gaz.

On connaissait bien avant Amontons la dilatation de l'air atmosphérique par la chaleur; mais il paraît que ce physicien est le premier qui ait cherché à en connaître l'étendue pour une élévation déterminée de température. Pour parvenir à ce but, il renferma de l'air, au moyen du mercure, dans une boule soudée à l'extrémité d'une des branches d'un syphon renversé, et il plongea cet appareil dans un bain d'eau chaude (1). L'air dilaté par la chaleur comprimait le mercure et l'élevait dans l'autre branche du syphon; en sorte qu'il jugeait par la hauteur du mercure au-dessus de son niveau dans la boule, du ressort qu'avait acquis l'air.

De diverses expériences faites sur des volumes inégaux d'air, il conclut: (Mem. de l'acad. 1699, 1702.)

(1) L'air renfermé dans la boule ne pouvant s'échapper lorsqu'on y verse du mercure, s'y trouve un peu plus comprimé qu'il n'est naturellement; mais si l'on ne veut d'autre pression que celle de l'atmosphère, il sera très-facile d'éviter ce léger inconvénient.

1°. « Que la chaleur de l'eau bouillante a des bornes qu'elle ne passe point.

2°. « Que des volumes inégaux d'air augmentent également la force de leur ressort par des degrés de chaleur égaux, et au contraire.

3°. « Que la chaleur de l'eau bouillante n'augmente la force du ressort de l'air que jusqu'à lui faire soutenir environ le poids de 10 pouces en hauteur de mercure.

Il fait voir ensuite que quelque comprimé que soit un volume d'air, la chaleur de l'eau bouillante augmente toujours la force de son ressort d'environ un tiers; c'est-à-dire, qu'un volume d'air comprimé, par exemple, par une colonne de 60 pouces de mercure, y compris le poids de l'atmosphère, soutiendra, à la température de l'eau bouillante, une colonne de mercure d'environ 80. pouces. Il conclut donc de là « qu'un même degré de chaleur, pour petit qu'il puisse être, peut augmenter toujours de plus en plus la force du ressort de l'air, si cet air est chargé d'un poids de plus en plus grand.

Si Amontons fut parti d'un degré de chaleur mieux déterminé que celui qu'il appelait *le tempéré*, ce qui n'était guère possible alors, on aurait pu déduire de ses expériences la

la dilatation assez approchée de l'air atmosphérique; cependant comme il les a faites comparativement sur des volumes d'air de très-inégale densité, on en peut conclure que *quelque dense que soit un volume d'air, l'augmentation de ressort que reçoit cet air par un même degré de chaleur, est toujours en même rapport avec celui qu'il a avant l'expérience.*

Nuguet, en cherchant à vérifier les résultats d'Amontons, en trouva d'autres bien différens. Dans une de ses expériences, le volume de l'air dilaté par la chaleur de l'eau bouillante et le volume primitif furent entr'eux comme 2 est à 1, et dans deux autres comme 16 est à 1. Son appareil consistait dans une bouteille qu'il plongeait, renversée, dans un bain d'eau dont il élevait la température jusqu'à celle de l'eau bouillante. On voit que cet appareil était extrêmement défectueux, puisque l'air y était toujours en contact avec l'eau; et d'ailleurs Nuguet avait encore laissé de l'eau dans sa bouteille. Il ne faut donc pas être surpris qu'il ait obtenu des résultats si disparates et, pour ainsi dire, si outrés. (mem. de l'acad. 1708. Lahire.)

Cette grande différence entre les résultats d'Amontons et ceux de Nuguet sur la dilata-

tion de l'air atmosphérique, et la considération qu'on l'avait soumis à l'expérience dans des circonstances où il ne se trouve pas ordinairement, engagèrent Lahire à s'occuper du même objet. L'appareil dont il se servit était le même que celui d'Amontons, à cela près que la boule portait un petit tube qu'il fermait après y avoir introduit du mercure. Par ce moyen, le mercure étant de niveau dans la boule et dans le syphon, l'air qu'il soumettait à l'expérience n'était pas plus comprimé que l'air environnant. Avec cet appareil, Lahire trouva d'abord dans une expérience, que l'air, dilaté depuis le tempéré jusqu'au degré de l'eau bouillante, ne pouvait soutenir une colonne de mercure du tiers du poids de l'atmosphère; ensuite il trouva dans une autre, le thermomètre étant plus bas et le baromètre plus haut que dans la première expérience, que l'air, dilaté par la chaleur de l'eau bouillante, ne pouvait soutenir une colonne de mercure aussi forte que la première. Ces deux résultats sont évidemment contradictoires; mais Lahire n'y soupçonnant aucune erreur, en conclut qu'il fallait nécessairement avouer qu'on ne connaissait pas encore la nature de l'air.

Pour rendre raison de la grande différence

qu'il y avait entre ses résultats et ceux de Nuguet, différence beaucoup trop grande pour n'être pas due à quelque cause étrangère, Lahire remarqua que Nuguet avait laissé un peu d'eau dans son appareil; et de là il jugea que ce pouvait être cette eau qui, en se changeant en vapeur et en expulsant une grande partie de l'air renfermé dans sa bouteille, lui avait donné une si grande dilatation. Il fut entièrement confirmé dans son opinion par le résultat d'une expérience faite à la manière de Nuguet et en laissant un peu d'eau dans la bouteille; car il trouva que le volume de l'air dilaté depuis le tempéré jusqu'au degré de l'eau bouillante, et le volume primitif, étaient entr'eux comme 35 et demi est à 1. (Mem. de l'acad. 1708.)

Dans le même tems, M. Stancari à Bologne faisait voir que l'eau augmente considérablement le volume de l'air à une température un peu élevée. Nous devons donc à ces deux physiciens l'importante connaissance de l'influence de l'eau sur la dilatation de l'air atmosphérique; mais quoiqu'ils l'eussent mise par leurs expériences dans la plus grande évidence, on l'a depuis généralement méconnue. C'est aussi au peu d'attention qu'on a fait à cette influence qu'on doit attri-

buer les grandes variations qu'on trouve dans les résultats des physiciens sur la dilatation des gaz.

On sait que les hauteurs auxquelles on s'élève dans l'atmosphère sont données par les logarithmes des hauteurs correspondantes de la colonne barométrique. Si la densité de l'air était toujours la même, il serait facile d'en déduire la hauteur d'un lieu au-dessus d'un autre lieu déterminé, en y observant le baromètre. Il était donc important de bien démêler les causes qui peuvent influer sur la densité de l'air, pour faire les corrections nécessaires aux hauteurs données par le baromètre.

Deluc, qui a porté un si grand jour dans cette partie de la physique, reconnut la chaleur pour l'une de ces causes. Pour en bien distinguer les effets, il commença par chercher la température pour laquelle les logarithmes donnent les hauteurs sans correction, et il trouva, en comparant plusieurs observations faites sur des lieux dont il avait exactement déterminé les hauteurs, que c'est pour la température de $16^{\frac{1}{2}}$ du thermomètre divisée en 80 parties, qu'il appelle température fixe, que cela a lieu. Pour corriger ensuite les effets de la chaleur au-dessus et au-

dessous de ce point fixe, il compara encore les hauteurs trouvées par les logarithmes à celles qu'il avait mesurées, en attribuant à la chaleur les excès ou défauts des premières sur les secondes, et il conclut « qu'aux environs » de la température fixe, la correction pour » un degré du thermomètre était à la hauteur du lieu : : 1 : 215 ». (Recher. sur les modif. de l'at. IV part. ch. III.)

Le colonel Roy a trouvé à l'air une dilatation beaucoup plus forte. Suivant lui, vers le 15° du thermomètre divisé en 80 parties, l'air se dilate de $\frac{1}{37}$ de son volume pour chaque degré. Il a aussi trouvé que l'air humide se dilatait beaucoup plus que l'air sec; mais Saussure observe que pour faire ses expériences, le colonel Roy ayant introduit dans son manomètre, soit de l'eau liquide, soit de la vapeur d'eau, il a confondu deux choses qu'il convenait de séparer, savoir, la conversion de l'eau en fluide élastique, et la dilatation de l'air uni à cette vapeur. (Phylos. transact. 1777. p. 704.)

Saussure fixe la dilatation de l'air, vers le 6° degré, à $\frac{1}{37}$ de son volume pour chaque degré. Ses expériences furent faites dans un grand ballon dans lequel étaient renfermés un thermomètre et un baromètre pour indi-

quer les variations de température de l'air, et l'élasticité correspondante qu'il acquérait. Pour étudier l'influence de l'eau sur la dilatation de l'air, il renferma dans son ballon de l'air plus ou moins sec, en évitant la production de nouvelles vapeurs, et bien loin de trouver cet air plus dilatable que l'air très-sec, il crut, au contraire, remarquer que l'air très-sec était même un peu plus dilatable que l'air très-humide, mais tenant toujours son eau en parfaite dissolution. (Essai sur l'hygrométrie, page 108.)

Jusque-là les phycisiens s'étaient bornés à la dilatation de l'air atmosphérique, et le premier qui se soit occupé de celle des autres gaz est le célèbre Priestley. Voici comment il y procède.

Après avoir rempli sur le mercure une fiole du gaz qu'il veut éprouver, il lui adapte un tube recourbé dont l'une des branches est très-inclinée, et il laisse un peu de mercure dans le col de la fiole afin que l'expansion du gaz puisse le faire passer dans le tube. Cela fait, il place son appareil dans une petite boîte de bois, lui joint un thermomètre et le porte dans des chambres à diverses températures: l'air dilaté fait parcourir au mercure plus ou moins d'espace

dans le tube, et c'est par cet espace mesuré en pouces que Priestley évalue la dilatation des différens gaz. Comme toutes ses expériences ont été faites avec la même fiole et le même tube, qu'il inclinait probablement toujours de la même manière, elles donnent un rapport entre les dilatations des différens gaz, mais non les dilatations absolues; parce qu'il aurait fallu pour cela connaître la capacité de la partie du tube parcourue par le mercure, relativement à celle de la fiole, et de plus connaître exactement l'inclinaison du tube, ce dont Priestley ne parle pas. Je ne m'arrêterai donc pas plus long-tems à discuter ces expériences; d'autant plus que Priestley lui-même n'y ajoute pas beaucoup de confiance et qu'il désire qu'elles soient répétées d'une meilleure manière.

En supposant des volumes égaux des différens gaz, les expansions mesurées en pouces sur le tube, seraient pour 4°, 44 du thermomètre divisé en 80 parties.

	pouces
Air commun.	1, 32
Gaz hydrogène.	2, 05
Gaz nitreux.	2, 02
Gaz acide carbonique.	2, 20
Gaz acide muriatique.	1, 33

Gaz oxigène.	2, 21
Gaz azote.	1, 65
Gaz acide sulfureux.	2, 37
Gaz acide fluorique.	2, 83
Gaz ammoniacal.	4, 75

(Expér. and. observ. etc. Book VII. sect VI.)

Dans un mémoire imprimé parmi ceux de l'académie pour l'année 1786, les citoyens Monge, Berthollet et Vandermonde ont conclu d'une expérience que, pour un degré, l'air atmosphérique se dilate de $\frac{1}{1171}$ de son volume, et le gaz hydrogène de $\frac{1}{1171}$.

Enfin le cit. Guyton considérant qu'on était peu d'accord sur la dilatation de l'air atmosphérique, et qu'on n'avait pas encore d'expériences directes qui déterminassent la dilatation des gaz pour des degrés de chaleur un peu élevés et pour des degrés très-rapprochés, entreprit avec le cit. Duvernois de porter quelque jour sur cet objet. Comme c'est leur travail qui est le plus récent, je m'y arrêterai un instant pour tâcher de découvrir quelles sont les causes qui ont pu altérer leurs résultats.

Leur appareil était composé d'un ballon armé d'un tube recourbé, au moyen duquel,

l'air expulsé du ballon par la chaleur, était reçu dans un récipient sur la cuve au mercure. Le ballon, plein du gaz qu'ils voulaient soumettre à l'expérience, était plongé dans un bain à la température de la glace fondante, et y était retenu au moyen d'une armure de fer. Ils chauffaient successivement le bain jusqu'aux degrés 20, 40, 60 et 80, et ils recueillaient dans des récipients séparés les produits des dilatations pour chacun de ces degrés; ils déterminaient ensuite les volumes de l'air sorti du ballon en les mesurant dans leurs récipients respectifs après les avoir ramenés à la température de la glace fondante; et ils en concluaient le volume de celui resté dans le ballon (1). Mais outre que leur appareil les obligeait de déterminer beaucoup de constantes, ce qui devait nuire à l'exactitude de leurs résultats, je remarque, qu'après l'immersion du tube recourbé dans le mercure, n'ayant pas introduit de nouvel air dans le ballon pour déplacer le mercure qui était entré dans le tube en vertu de la pression du mercure de la cuvette, il a fallu plusieurs degrés de chaleur avant qu'il soit

(1) Annales de Chimie, Vol. I.

sorti aucune bulle d'air du ballon ; en sorte que s'ils avaient pris des divisions plus rapprochées, comme de 5° en 5°, ils auraient conclu qu'à partir de zéro, les premiers degrés de chaleur ne font éprouver aucune dilatation aux différens gaz. Aussi ont-ils trouvé pour les 20 premiers degrés une dilatation beaucoup trop faible pour la plupart des gaz.

Cette cause d'erreur, quoique grave, n'aurait pas porté les résultats des cit. Guyton et Duvernois si loin de la réalité, s'il n'y en avait eu quelque autre bien plus grave encore. Je soupçonne donc que leur ballon n'aura pas été séché convenablement, et qu'il s'y sera glissé un peu d'eau en y introduisant les gaz. Il suffit, en effet, qu'il y soit resté un décigramme d'eau pour influencer considérablement sur leurs résultats, surtout vers les degrés supérieurs où, en se changeant en fluide élastique, elle aura expulsé une grande partie de l'air du ballon.

On peut expliquer par là la progression très-croissante qu'ils ont obtenue pour tous les gaz, tandis qu'ils auraient dû en trouver une décroissante en ramenant à la température de la glace fondante les produits de chaque dilatation. J'observerai à cet égard

que le cit. Guyton s'exprime ainsi relativement à la dilatation du gaz hydrogène. (Annales de Chimie, T. J, page 284.). « Les » quatre produits de la dilatation ont été reçus » cette fois dans un récipient que l'on avait en » touré de vaisseaux remplis de glace. Malgré » cela, le mercure de la cuvette a indiqué au » thermomètre les degrés 2, 3, 4, 6 au-dessus » de zéro, tandis que l'eau du bain était au » même instant à 20, 40, 60 et 80 degrés, » ce qui a pu occasionner quelque inexac- » titude dans l'évaluation de chacun de ces » produits, mais qui ne peut être d'une grande » conséquence, la dilatation étant très-faible » dans ces premiers degrés.

De là on pourrait croire que ces physi- ciens n'ont pas apporté plus d'attention pour ramener à zéro les volumes des autres gaz ; et si cela était, il en résulterait une autre cause d'incertitude dans leurs expériences.

En comparant les volumes des gaz restés dans le ballon avec ceux qui en avaient été expulsés par la chaleur, les cit. Guyton et Duvernois ont trouvé que les gaz oxygène, hydrogène, acide carbonique et l'air atmosphérique avaient éprouvé une diminution, et ils en ont attribué la cause à des combinaisons qui avaient eu lieu pendant le tems

des expériences. En me servant de mercure bien pur et privé d'oxide, je n'ai pu remarquer aucune action sensible entre ce métal et ces gaz depuis la température de la glace fondante jusqu'à celle de l'eau bouillante.

Voici le tableau des résultats des citoyens Guyton et Duvernois; ils ont renfermé entre deux crochets ceux dans lesquels ils ont peu de confiance.

	De 0° à 20°.	De 20° à 40°.	De 40° à 60°.	De 60° à 80°.	De 0° à 80°.
L'air com- munse di- late de .	1 12,67 1	1 5,61 1	1 2,47 1	(3,57 1	1 1,067 1
Air vital .	22,12 1	4,52 1	1,53 1	(3,173 1	1+ 2,09 1
Gaz azote .	27,41 1	5,41 1	1,82 1	5+ 57,2 1	5+ 1,062 1
Gaz hydro- gène . .	11,91 1	6,92 1	(6,85 1	(58,32 1	2,55 1
Gaz nit.	15,33 1	9,00 1	3,73 1	(6,33 1	1,65 1
Gaz acid. carbon . .	9,49 1	5,09 1	2,31 1	(3,69 1	1+ 10,63 1
Gaz ammo- niacal . .	3,58 1	1,75 1	1,35 1	(3+ 4,67 1	1+ 1,248 1

Avant d'aller plus loin, je dois prévenir

que quoique j'eusse reconnu un grand nombre de fois que les gaz oxigène, azote, hydrogène et acide carbonique, et l'air atmosphérique se dilatent également depuis 0° jusqu'à 80°, le cit. Charles avait remarqué depuis 15 ans la même propriété dans ces gaz; mais n'ayant jamais publié ses résultats, c'est par le plus grand hasard que je les ai connus. Il avait aussi cherché à déterminer la dilatation des gaz solubles dans l'eau, et il avait trouvé à chacun une dilatation particulière et différente de celle des autres gaz. A cet égard, mes expériences diffèrent beaucoup des siennes.

Le cit. Charles s'était servi pour appareil d'un baromètre dont la chambre avait une grande étendue. Le gaz qu'il voulait soumettre à l'expérience était renfermé dans le réservoir du baromètre à la température 0°, et sous la pression de 28 pouces de mercure. En plongeant ce baromètre dans l'eau bouillante, le mercure s'élevait dans le tube, et l'excès de toute la colonne sur celle de 28 pouces indiquait le ressort qu'avait acquis le gaz: mais le cit. Charles ayant eu la complaisance de me faire voir son appareil, j'ai vu que le tube du baromètre étoit très-large par rapport à la capacité du réservoir;

de sorte que l'élévation du mercure au-dessus de 28 pouces n'indiquait pas tout le ressort qu'avait acquis le gaz, parce qu'il aurait fallu pour cela que son volume dans le réservoir fut resté constant. Il me paraît donc qu'on ne peut conclure de ces expériences la vraie dilatation des gaz.

ART. III.

Description des appareils.

Un ballon B, (fig. 1, pl. I) est armé d'un robinet de fer auquel peut s'ajuster un tube recourbé ID (fig. 2). La clef du robinet porte un levier LL percé à ses deux extrémités pour y recevoir deux cordons au moyen desquels on peut ouvrir ou fermer le robinet dans l'eau. Pour introduire les gaz dans le ballon, je me sers d'une cloche de verre M (fig. 1), à laquelle sont adaptés un robinet et un tube recourbé T, et plongeant dans un vase QS. En versant de l'eau dans le vase, et en ouvrant le robinet, le gaz comprimé dans la cloche s'échappe par le tube, et va remplir le ballon B renversé sur le bain PO de mercure. Le ballon plein, je ferme le robinet; je lui ajuste le tube ID

(fig. 2.), et je le fixe dans une cage de fer cylindrique EFGH, que je porte ensuite dans un vase de cuivre AD rempli d'eau. Pour qu'il n'y ait aucune communication entre l'air extérieur et le gaz renfermé dans le ballon, lorsqu'on ouvre le robinet, je fais plonger l'extrémité du tube ID de un ou deux millimètres dans un petit bain KX de mercure. Cela fait, je chauffe le bain, et de 10° , en 10° par exemple, j'ouvre le robinet pour le fermer aussitôt. Le gaz dilaté par la chaleur sortant brusquement du ballon, a bientôt chassé l'air atmosphérique qui remplissait le tube, et dès le 40° on pourrait avec assurance laisser le robinet ouvert jusqu'à la fin de l'opération: je préfère cependant l'ouvrir et le fermer alternativement, parce que je trouve que le gaz du ballon prend mieux la température du bain. Après 15 ou 20 minutes d'ébullition, tems suffisant pour que tout prenne la même température; je dégage l'extrémité du tube ID de dans le mercure pour rétablir l'équilibre de pression entre l'air extérieur et le gaz du ballon; et je ferme aussitôt le robinet. Après avoir refroidi le bain avec de la glace ou de l'eau; je retire l'appareil; je dégage le ballon auquel j'enlève le tube ID et même

Je levier LL, et je le plonge entièrement dans un bain d'une température déterminée où le je laisse assez de tems pour qu'il en prenne bien la température.

En ouvrant alors le robinet, il entre dans le ballon un volume d'eau qui, ramené au niveau, est précisément égal à celui du gaz qui en a été expulsé par la chaleur. Le robinet fermé, je retire le ballon; je sèche avec soin sa surface extérieure, et je le pèse dans cet état; je le pèse ensuite plein d'eau et vide en notant les résultats de chaque pesée. Avec ces données, j'ai la capacité du ballon en retranchant le poids du ballon vide de celui du ballon plein d'eau, et le volume de l'eau représentant le volume de l'air expulsé du ballon par la chaleur, en retranchant encore le poids du ballon vide de celui du ballon contenant cette eau. Il sera donc très-facile de déterminer le rapport du volume primitif au volume dilaté.

Cette méthode a l'avantage de donner une grande précision; car comme c'est par les poids qu'on détermine les volumes, l'erreur qu'on peut commettre dans cette détermination doit être très-légère, même en se servant de balances médiocrement sensibles.

L'appareil

L'appareil que je viens de décrire est assez simple en lui-même; cependant comme il renferme des luts et un robinet qui doit être en fer à cause du mercure, il est d'une assez difficile exécution. Il ne sera donc pas hors de propos de faire connaître un autre appareil dont je me suis aussi servi, et qui, à sa grande simplicité et à sa facile exécution, réunit à peu près tous les avantages du premier.

C'est un simple ballon D (fig. I. pl. II.) dont le col doit avoir au moins un décimètre de longueur. Après l'avoir rempli du gaz que je veux soumettre à l'expérience, de la manière déjà décrite, je plonge son col de deux centimètres environ dans du mercure contenu dans un verre ordinaire OM, et je l'assujettis dans une cage de fer comme l'appareil précédent. Si je le plongeais dans cet état dans un bain d'eau chaude, le gaz dilaté par la chaleur aurait à vaincre, pour s'échapper, non-seulement la pression du mercure du verre, mais encore celle de l'eau du bain. Pour remédier à cet inconvénient, j'introduis dans le col du ballon l'extrémité d'un tube très-fin recourbé B, en ayant la précaution d'en tenir l'extrémité G fermée jusqu'à ce qu'elle soit plongée dans du mercure. Pour soutenir le tube, j'attache vers son milieu un cordon

Tome XLIII.

L

à l'extrémité duquel je suspends un poids , et je le fais passer sur un appui , de manière que le poids, par son action, tende à faire monter le tube. L'appareil ainsi disposé, je le plonge dans un vase de verre où il y a une hauteur d'eau égale à celle qu'il doit y avoir dans le bain, j'ouvre un instant l'extrémité du tube pour que l'équilibre de pression avec l'air extérieur se rétablisse, et je la referme aussitôt. Comme il y a sur le col du ballon une échelle dont les divisions sont très-petites, je prends exactement le niveau *ac* du mercure dans le col du ballon et je le note, car c'est à ce niveau que se termine la capacité du ballon. L'extrémité du tube B doit s'élever au-dessus du niveau *ac*, car autrement le mercure s'introduirait dans le tube et opposerait une résistance à la sortie du gaz dilaté par la chaleur. Après toutes ces opérations, plus longues à décrire qu'à exécuter, je porte l'appareil dans un bain d'eau chaude et j'ouvre l'extrémité G du tube après l'avoir fait plonger dans un petit bain de mercure comme dans l'appareil précédent. Quand le ballon a pris la température de l'eau bouillante, je retire le tube B dont l'extrémité doit être auparavant dégagée du mercure, et je refroidis le bain. Le mercure s'élève alors dans le ballon;

mais il sera facile, lorsque tout sera à une température inférieure, de lui substituer l'eau. La capacité du ballon et le volume de l'eau qui a remplacé celui du gaz expulsé par la chaleur se déterminent de la manière dont j'ai déjà parlé; seulement il faut dans cette détermination réunir au poids du ballon vide celui du cylindre d'eau terminé, d'une part, au niveau *ac*, et de l'autre, à l'extrémité du col du ballon.

J'aurais pu donner encore quelques détails, mais je les supprime pour ne pas être trop long; les personnes un peu habituées à manipuler y suppléeront aisément. Cependant, comme il est important, d'après ce que j'ai dit sur les effets de l'eau, de la bannir entièrement de ses appareils, je vais dire comment j'y ai complètement réussi.

Si le ballon était visiblement humide, je commençais par le sécher avec du papier à filtrer puis je le chauffais de manière à vaporiser une partie de l'eau qu'il pouvait encore contenir, et au moyen d'un soufflet auquel j'avais ajusté un tube de verre, je portais dans son intérieur un courant d'air pour en expulser la vapeur. Ces dernières opérations étant répétées plusieurs fois sur le ballon et sur le tube, l'un et l'autre se trou-

vaient parfaitement secs. Quant au mercure dont je me suis servi dans mes expériences, je l'ai toujours employé très-sec et très-pur.

Dans toutes les expériences dont je vais rapporter les résultats, j'ai toujours ramené à la température de la glace fondante les gaz dont j'ai pu déterminer la dilatation avec les appareils que je viens de décrire; et pour cela j'avais un bain où j'entretenais la glace, dans lequel je plongeais entièrement le ballon, après l'avoir retiré du bain où il avait été mis en expérience, et je l'y laissais environ une demi-heure pendant laquelle j'agitais souvent le bain. L'autre température fixe à laquelle je me suis arrêté pour les mêmes gaz est celle de l'eau bouillante.

J'ai fait quelques expériences pour d'autres températures; mais elles demandent à être encore répétées, et d'ailleurs elles feront partie d'un travail que j'ai commencé sur la loi de la dilatation des gaz et des vapeurs; je m'entendrai donc, comme je l'ai annoncé, à l'examen de la dilatation des gaz pour une élévation déterminée de température qui sera celle comprise entre le degré de la glace fondante et celui de l'eau bouillante. Quant aux vapeurs, je comparerai leur dilatation à celle des gaz.

ART. IV.

Expériences et résultats.

En me servant des deux appareils que je viens de décrire, mais plus souvent du second que du premier, et en évitant toutes les causes d'incertitude que j'ai pu prévoir, j'ai trouvé d'après six expériences sur l'air atmosphérique les six résultats suivants (1):

Depuis la température de 137, 40
la glace fondante jusqu'à 137, 61
celle de l'eau bouillante, des 137, 44
volumes égaux d'air atmosphérique 137, 55
représentés par 100 137, 48
sont devenus 137, 57
dont la moyenne est à peu près. (2) 137, 50

(1) Mon ballon contenait environ 350 gram. d'eau.

(2) Quoique les différences entre ces résultats ne soient pas très-considérables, je crois que j'eusse pu les rendre plus petites, si j'eusse pu tenir compte de l'état du baromètre au moment de l'ébullition de l'eau. J'ai cependant toujours eu l'attention de m'assurer de son état thermométrique au moment de son ébullition, et j'avoue que je n'y ai jamais remarqué de variations bien sensibles. Il faudrait en effet une variation d'un pouce dans le baromètre pour en occasionner une d'un degré dans le terme de l'ébullition de l'eau; ce qui doit arriver assez rarement. Quoiqu'il en soit, le résultat moyen 137,50 doit être très-approché.

Si l'on divise l'augmentation totale de volume par le nombre de degrés qui l'ont produite ou par 80, on trouvera, en faisant le volume à la température 0 égal à l'unité, que l'augmentation de volume pour chaque degré est de $\frac{1}{113,33}$ ou bien de $\frac{1}{166,66}$ pour chaque degré du thermomètre centigrade.

Deluc ayant trouvé $\frac{1}{113}$ pour coefficient, il semble au premier coup-d'œil que nos résultats sont les mêmes; mais si l'on fait attention qu'il est parti de la température $16^{\circ} \frac{1}{4}$, tandis que je suis parti de la température $0^{\circ} \frac{1}{2}$ on verra que nos résultats sont assez différens. Je développerai ailleurs cette différence, et je ferai voir que les coefficients de la dilatation varient avec la température d'où l'on part.

Le gaz hydrogène retiré du fer par l'acide sulfurique faible a été soumis à deux expériences : dans l'une, par une élévation de température depuis le degré de la glace fondante jusqu'à celui de l'eau bouillante, 100 parties sont devenues 137, 49; et dans l'autre, par la même élévation de température, 100 parties sont devenues 137, 56. La moyenne de ces deux résultats est 137, 52. qui ne diffère que très-peu du résultat moyen trouvé pour la dilatation de l'air atmosphérique.

Le gaz oxigène retiré du muriate oxigéné de potasse a été éprouvé trois fois et a donné les résultats suivans:

	137, 47
100 parties sont devenues	137, 54
	137, 45
dont la moyenne est	137, 48

Le gaz azote obtenu de la décomposition de l'ammoniaque par l'acide muriatique oxigéné a donné les cinq résultats suivans.

	137, 42
	137, 56
100 parties sont devenues	137, 50
	137, 46
	137, 55
dont la moyenne est	137, 49

En rapprochant les résultats précédens, et en comparant la dilatation des gaz oxigène, hydrogène et azote à celle de l'air atmosphérique on forme le tableau que voici.

De la température de la glace fondante à celle de l'eau bouillante 100 parties de	Preennent un accroissement de	Différences.
	parties.	
Air atmosphérique...	37,50	
Gaz hydrogène.....	37,52	+ 0,02
Gaz oxigène.....	37,48	- 0,02
Gaz azote.....	37,49	- 0,01

Les légères différences qu'on observe dans les résultats précédens pouvant provenir de ce qu'il est impossible de rendre les circonstances rigoureusement les mêmes dans chaque expérience, et n'allant qu'à deux dix millièmes du volume primitif, on peut conclure avec assurance que l'air atmosphérique et les gaz oxigène, hydrogène et azote se dilatent également depuis la température de la glace fondante jusqu'à celle de l'eau bouillante.

Pour déterminer la dilatation des gaz solubles dans l'eau, j'ai changé d'appareil. Je me suis servi de deux tubes T, T (fig. 2, pl. II) gradués en même temps sur le même bain AC de mercure avec une très-petite mesure. Chaque fois que je me suis servi de cet appareil, j'ai eu l'attention que la quantité de mercure fût la même que lorsque les tubes avaient été gradués. Je dois même observer que si la cuvette qui contient le mercure éprouvait quelqu'accident, il faudrait grader de nouveau les tubes sur un autre bain; il sera même bon de les couper sur le même cylindre de verre et de leur donner des hauteurs égales, afin de rendre toutes les circonstances aussi égales qu'il est possible.

Dans l'un de ces tubes, je mettais de l'air

atmosphérique jusqu'à la 100^e division, par exemple, et dans l'autre, du gaz dont je voulais examiner la dilatation, également jusqu'à la 100^e. division. Je soumettais donc à l'expérience 100 mesures égales de chacun des deux gaz. Je portais alors l'appareil dans une étuve dont je gouvernais la température à mon gré, et j'observais la marche de la dilatation des gaz. Quelque attention que j'aie eu de la bien observer, je n'y ai jamais aperçu aucune différence, et j'ai toujours remarqué que les mêmes divisions étaient parcourues en même temps dans les deux tubes.

Les gaz que j'ai ainsi examinés n'ont jamais été reçus directement dans les tubes; avant, je les faisais séjourner quelque temps dans un vase intermédiaire où je mettais un corps desséchant, par exemple du muriate de chaux, et je les faisais passer ensuite dans les tubes en les comprimant avec du mercure que je versais par un tube de sûreté adapté au flacon intermédiaire. Si on néglige ces précautions, on aura presque toujours une dilatation beaucoup trop forte; parce qu'on ne se mettra pas à l'abri de l'influence de l'eau non dissoute ou d'un autre corps susceptible de prendre facilement la forme gazeuse.

100 mesures de gaz acide carbonique retiré du marbre par le moyen de l'acide sulfurique ont été mises en comparaison avec 100 mesures d'air atmosphérique. Depuis le 5^e degré jusqu'au 90^e les expansions ont été les mêmes dans les deux tubes.

100 mesures de gaz acide muriatique retiré par le moyen de l'acide sulfurique concentré du muriate de soude fortement desséché, ayant été mises en comparaison avec 100 mesures d'air atmosphérique depuis le 3^e degré jusqu'au 86^e, les expansions des deux gaz ont été absolument les mêmes. Cette expérience ainsi que la précédente ont été répétées plusieurs fois, et toujours elles ont donné le même résultat.

Le gaz acide sulfureux et le gaz nitreux éprouvent encore par l'action de la chaleur les mêmes expansions que l'air atmosphérique.

Le Docteur Priestley et les cit. Guyton et Duvernois ont trouvé au gaz ammoniacal une très-grande dilatation. Dans l'intention de chercher la cause qui avoit pu leur en imposer dans leurs expériences, je reçus directement dans l'un de mes tubes du gaz ammoniacal provenant de la décomposition du muriate d'ammoniaque par la chaux ordinaire, et je

mis dans l'autre tube un volume convenable d'air atmosphérique. A mesure que la température s'élevait, le gaz ammoniacal se dilatait progressivement plus que l'air atmosphérique; de manière qu'il le surpassa bientôt du double mais en observant la surface du mercure et les parois du tube, après un abaissement de température, j'y remarquai une trace de liquide et quelques points cristallins qui ne pouvaient être que du muriate ou du carbonate d'ammoniaque, et tout disparaissait lorsqu'on élevait suffisamment la température. Quoiqu'il en soit, je recommençai cette expérience en laissant séjourner quelque temps le gaz ammoniacal dans un flacon intermédiaire où il y avait de la potasse caustique, et alors, depuis 0 jusqu'à 95^o, ses dilatations suivirent exactement celles de l'air atmosphérique. J'observai encore la surface du mercure et les parois du tube lorsque la température fut revenue à 0, mais je n'y remarquai cette fois, ni liquide ni points cristallins. Cette expérience répétée plusieurs fois eut toujours le même succès.

Ainsi l'on voit, par ce que je viens de dire, que, non-seulement un liquide, mais même un autre corps susceptible de prendre l'état gazeux, peuvent en imposer facilement; il

faudra donc les éviter avec la plus scrupuleuse attention.

Les expériences que je viens de rapporter et qui, toutes, ont été faites avec beaucoup de soin, prouvent incontestablement que l'air atmosphérique et les gaz oxygène, hydrogène, azote, nitreux, ammoniacal, acide muriatique, acide sulfureux, et acide carbonique se dilatent également par les mêmes degrés de chaleur; et que, par conséquent, leur plus ou moins grande densité sous la même pression et à la même température, leur plus ou moins grande solubilité dans l'eau et leur nature particulière, n'influent en rien sur leur dilatation.

De cette considération je conclus que tous les gaz, en général, se dilatent également par les mêmes degrés de chaleur; pourvu qu'on les mette tous dans les mêmes conditions.

Ces recherches sur la dilatation des gaz me conduisaient naturellement à examiner celle des vapeurs; mais soupçonnant, d'après les résultats précédens, qu'elles se dilataient comme les gaz, je me déterminai à ne faire des expériences que sur une vapeur, et je choisis de préférence celle de l'éther sulfurique comme étant plus aisée à traiter.

Pour déterminer donc l'expansion de la

vapeur de l'éther, je me servis des deux tubes dont j'ai déjà parlé, l'air atmosphérique servant toujours de terme de comparaison. Cet appareil ayant été tenu quelque temps dans une étuve dont la température était environ de 60° , je fis passer de la vapeur éthérée dans l'un des tubes, et dans l'autre de l'air atmosphérique, de manière qu'ils correspondaient chacun à la même division. J'élevai ensuite la température de l'étuve de 60° à 100° , et j'eus la satisfaction de voir que soit en montant, soit en descendant, la vapeur de l'éther et l'air atmosphérique correspondaient toujours en même tems aux mêmes divisions. Cette expérience, dont le cit. Berthollet a été témoin, a été répétée plusieurs fois, et jamais je n'ai pu observer aucune différence dans sa dilatation comparée à celle de l'air atmosphérique. Je remarquerai cependant que quelques degrés au-dessus de celui de l'ébullition de l'éther, ses condensations sont un peu plus rapides que celles de l'air atmosphérique. Cela tient à un phénomène que nous présente un grand nombre de corps en passant de l'état liquide à l'état solide, mais qui n'est plus sensible quelques degrés au-dessus de celui où s'est fait ce passage.

Cette expérience, en prouvant que la va-

peur de l'éther et les gaz se dilatent également, nous fait voir que cette propriété ne dépend nullement de la nature particulière des gaz et des vapeurs, mais seulement de leur état élastique, et elle nous porte, par conséquent, à conclure que tous les gaz et toutes les vapeurs se dilatent également par les mêmes degrés de chaleur.

Puisque tous les gaz sont également dilatés par la chaleur et également compressibles, et que ces deux propriétés dépendent l'une de l'autre, comme je le ferai voir ailleurs, les vapeurs qui sont également dilatés que les gaz doivent aussi être également compressibles: mais j'observe que cette dernière conclusion ne peut être vraie qu'autant que les vapeurs comprimées restent entièrement à l'état élastique; ce qui exige que leur température soit assez élevée pour les faire résister à la pression qui tend à leur faire prendre l'état liquide.

J'ai rapporté d'après Saussure, et mes expériences le confirment, que l'air très-sec et l'air tenant plus ou moins d'eau en dissolution sont également dilatés; je suis donc autorisé à tirer de tout ce que je viens de dire les conclusions suivantes.

1°. Tous les gaz, quelque soient leur den-

sité et la quantité d'eau qu'ils tiennent en dissolution, et toutes les vapeurs, se dilatent également par les mêmes degrés de chaleur.

2°. Pour les gaz permanens, l'augmentation de volume que chacun d'eux reçoit depuis le degré de la glace fondante jusqu'à celui de l'eau bouillante est égale aux $\frac{1}{13,75}$ du volume primitif pour le thermomètre divisé en 80 parties, ou aux $\frac{1}{13,75}$ du même volume pour le thermomètre centigrade.

Il me reste, pour compléter ce travail, à déterminer la loi de la dilatation des gaz et des vapeurs, afin d'en conclure le coefficient de la dilatation pour un degré quelconque de chaleur déterminé, et à m'assurer de la vraie marche du thermomètre. Je vais m'occuper de ces nouvelles recherches; et quand elles seront terminées, j'aurai l'honneur de les communiquer à l'Institut.