

ANNALES DE LA FACULTÉ DES SCIENCES DE TOULOUSE

ULYSSE LALA

Recherches expérimentales sur l'élasticité des mélanges gazeux

Annales de la faculté des sciences de Toulouse 1^{re} série, tome 5, n° 4 (1891), p. G1-G95

<http://www.numdam.org/item?id=AFST_1891_1_5_4_G1_0>

© Université Paul Sabatier, 1891, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « Annales de la faculté des sciences de Toulouse » (<http://picard.ups-tlse.fr/~annales/>) implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

*Article numérisé dans le cadre du programme
Numérisation de documents anciens mathématiques
<http://www.numdam.org/>*

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES
SUR
L'ÉLASTICITÉ DES MÉLANGES GAZEUX,
PAR M. ULYSSE LALA,

Professeur de Mécanique à l'École des Beaux-Arts et des Sciences industrielles,
Préparateur de Physique, chargé de la direction des travaux pratiques de licence,
à la Faculté des Sciences de Toulouse.

INTRODUCTION.

Si l'étude de la compressibilité des gaz considérés isolément a été l'objet de recherches aussi nombreuses que variées dans leurs conditions expérimentales, il n'en est pas de même pour l'élasticité des mélanges gazeux et les travaux relatifs à cette dernière question peuvent être rapidement passés en revue.

C'est Regnault qui a, le premier, abordé la question, mais d'une manière absolument incidente, lors de ses études sur la *chaleur spécifique des fluides élastiques*. Dans le Mémoire sur ce sujet, lu à l'Académie des Sciences le 18 avril 1853 (¹), Regnault, dans la troisième partie, s'occupe de la « détermination expérimentale de quelques éléments physiques qui ont été utilisés dans le calcul de la chaleur spécifique des gaz et des vapeurs » et étudie, pour des pressions ne dépassant pas 8^{atm}, la compressibilité de divers gaz : air atmosphérique, acide carbonique, oxygène, oxyde de carbone, protoxyde d'azote, deutoxyde d'azote, hydrogène protocarboné, acide chlorhydrique, acide sulphydrique, gaz ammoniac, cyanogène et acide sulfureux. Cela fait, Regnault a « voulu reconnaître si dans un

(¹) *Mémoires de l'Académie des Sciences de l'Institut de France*, t. XXVI, p. 1 à 333, année 1862.

mélange à proportions connues de deux gaz inégalement compressibles, la compressibilité pouvait se calculer d'après les proportions suivant lesquelles les gaz entrent dans le mélange et la compressibilité individuelle de chacun d'eux ». Dans ce but, il a opéré sur deux mélanges d'air et de gaz carbonique et, dans les deux cas, à la température constante de 7°, 7.

Pour le premier mélange, à volumes égaux d'air et d'acide carbonique, les expériences étant au nombre de douze et la pression variant de 53^{cm}, 41 à 128^{cm}, 528 de mercure, Regnault considère seulement un groupe de deux expériences pour lequel il a

$$\left. \begin{array}{l} H = 65,713, \quad PV = 36332 \\ H' = 128,528, \quad P'V' = 36200 \end{array} \right\} \quad \frac{PV}{P'V'} = \frac{36332}{36200} = 1,00364.$$

L'étude du second mélange, formé de $\frac{3}{4}$ d'air et $\frac{1}{4}$ d'acide carbonique, comprend aussi douze expériences dans lesquelles la pression croît progressivement de 53^{cm}, 418 à 127^{cm}, 978 de mercure; Regnault y relève encore uniquement le groupe de deux expériences qui fournit les résultats suivants :

$$\left. \begin{array}{l} H = 65,438, \quad PV = 36181 \\ H' = 127,978, \quad P'V' = 36053 \end{array} \right\} \quad \frac{PV}{P'V'} = 1,00355.$$

De là, Regnault déduit comme conclusion que « la compressibilité d'un mélange de deux gaz est intermédiaire entre celles que présenterait chaque gaz isolé pour les mêmes variations de pression. Quand les variations de pression sont *peu considérables*, comme dans les analyses eudiométriques, on peut donc calculer la compressibilité du mélange d'après les proportions des gaz mélangés ».

Regnault cite encore quelques expériences sur des mélanges d'acide sulfureux et d'hydrogène, pour des pressions comprises entre 73^{cm}, 013 et 146^{cm}, 648 de mercure, qui le conduisent aux mêmes conclusions dont la simplicité s'explique aisément, si l'on considère les faibles pressions sous lesquelles Regnault a opéré dans le cas actuel.

Dans le cours de ses recherches sur la compressibilité des gaz, M. Cailletet fut conduit à instituer diverses expériences sur la compressibilité des mélanges gazeux, à la suite de l'observation de ce fait, déjà constaté par M. Andrews, que le mélange d'air et d'acide carbonique est moins aisément liquéfiable que l'acide pur.

M. Cailletet (¹) a étudié, dans son appareil pour la liquéfaction des gaz, les mélanges d'acide carbonique et de protoxyde d'azote avec l'air, l'oxygène, l'hydrogène et l'azote, en se préoccupant de ce qui se passe aux très hautes pressions. Ce savant physicien constata que, pour un mélange de 1^{vol} d'air et de 1^{vol} d'acide carbonique, la liquéfaction n'était plus possible à 0° et 400^{atm}, par suite de l'abaissement du point critique au-dessous de la température de la glace fondante; il observa également que, si l'on comprime un mélange formé de 1^{vol} d'air et de 5^{vol} d'acide carbonique, à une température ne dépassant pas + 21°, l'acide se liquéfie aisément sous une pression modérée, mais si, pour que la température reste constante, on fait augmenter lentement la pression jusqu'à 150-200^{atm}, le liquide disparaît peu à peu et la masse gazeuse contenue dans le tube résiste à toutes les pressions.

Par une diminution lente de pression, évitant le refroidissement, le liquide reparaît à la pression pour laquelle il disparaît dans la première expérience, pression constante pour une température déterminée. Cette pression, pour le mélange de 5^{vol} d'acide carbonique et de 1^{vol} d'air, est

132	^{atm}	à la température de.....	+ 5,5
124	"	+ 10
120	"	+ 13
113	"	+ 18
110	"	+ 19

A 21°, l'acide carbonique comprimé même à 400^{atm} ne se liquéfie plus. Les mélanges formés d'acide carbonique et de mêmes volumes d'azote, d'hydrogène et d'oxygène ne se liquéfient pas sous les mêmes pressions et M. Cailletet fait observer qu'il « semble que chaque gaz constitue un mélange jouissant de propriétés particulières ». Il est conduit à « supposer que sous de hautes pressions un gaz et un liquide, tels que l'acide carbonique et le protoxyde d'azote, peuvent se dissoudre l'un dans l'autre en formant un tout homogène ».

M. Jamin se proposa (²) d'expliquer, par des considérations théoriques,

(¹) L. CAILLETET, *Compressibilité des mélanges gazeux* (*Séances de la Société française de Physique*, année 1880, p. 27). — *Expériences sur la compressibilité des mélanges gazeux* (*Journal de Physique*, 1^{re} série, t. IX, p. 192; 1880). — *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. XC, p. 210.

(²) J. JAMIN, *Sur le point critique des gaz liquéfiables* (*Journal de Physique*, 2^e série, t. II, p. 389; 1883).

les intéressants phénomènes découverts par M. Cailletet. Il considéra le point critique comme « la température où un liquide et sa vapeur saturée ont la même densité », et attribua à cette égalisation des densités la disparition de l'acide liquéfié dans le mélange. Il résultait de cette hypothèse que cette disparition de l'acide liquéfié devait être retardée si l'on remplaçait l'air du mélange par de l'hydrogène, gaz moins dense. Ce résultat, prévu par M. Jamin, fut vérifié expérimentalement par M. Cailletet sur deux mélanges contenant tous deux 5^{vol} d'acide carbonique pour 1^{vol} d'air dans l'un, d'hydrogène dans l'autre. En particulier, à 20° la pression de disparition du liquide dans le mélange était de 108^{atm} pour le mélange contenant l'air et de 199^{atm} pour celui renfermant l'hydrogène.

D'après les idées de M. Jamin, la compression du mélange continuant à croître, la densité du mélange gazeux doit dépasser celle du liquide et celui-ci se rassembler au sommet du tube. M. Cailletet tenta cet essai qui ne lui donna aucun résultat.

Postérieurement, M. Duhem (¹) a, en appliquant le calcul, rendu compte, théoriquement et d'une manière générale, des faits signalés par M. Cailletet, en se proposant et résolvant le problème suivant :

*Le système supposé soumis à une pression p et porté à la température absolue T renferme un poids total **M** d'acide carbonique et un poids **M** d'un gaz non liquéfiable aux températures où l'on opère, d'air par exemple. Il s'agit de savoir si, dans l'état d'équilibre, ce système renfermera ou non une certaine quantité d'acide carbonique liquide.*

Les conséquences tirées par M. Duhem de ses calculs sont d'accord avec les faits observés par M. Cailletet et conduisent M. Duhem à conclure « qu'un mélange d'hydrogène et d'acide carbonique ne se comportera pas comme un mélange d'air et d'acide carbonique ».

Les théories de M. Duhem confirment également des résultats obtenus antérieurement par Andrews et publiés seulement dans un Mémoire post-hume (²) paru peu après le travail de M. Duhem. Andrews a étudié la

(¹) DUHEM, *Sur la liquéfaction de l'acide carbonique en présence de l'air* (*Journal de Physique*, 2^e série, t, VII, p. 158; 1888).

(²) TH. ANDREWS, *On the properties of matter in the gaseous and liquid states under various conditions of temperature and pressure* [*Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, vol. CLXXVIII (A), p. 45; 1888].

compressibilité des mélanges d'acide carbonique et d'azote et constaté l'abaissement du point critique par le mélange d'une certaine quantité d'azote : ce point est à 14° avec une pression de 98^{atm} pour un mélange de 1^{vol} d'azote et de 3^{vol} , 43 d'acide carbonique. Andrews ayant noté, pour des températures inférieures, la pression p pour laquelle l'augmentation de pression fait apparaître le liquide, et celle p' qui le fait réapparaître après une disparition par compression, constata, en prenant la moyenne $\frac{p+p'}{2}$ de ces valeurs, que ces deux séries de valeurs convergent vers la pression critique, 98^{atm} , du mélange quand la température tend elle-même vers le point critique 14° . On a, en effet,

Températures.	$\frac{p + p'}{2}$.
6°,8.....	90°,9
9°,9.....	92°,7
13°,2.....	97°,4

D'autres recherches sur le point critique des mélanges gazeux avaient été faites par M. Gerard-Ansdell (¹) postérieurement aux expériences de M. Cailletet, mais avant celles d'Andrews que nous venons de signaler. M. Gerard-Ansdell opérait dans un tube Cailletet sur des mélanges d'acide carbonique et d'acide chlorhydrique, gaz de préparation facile, ne réagissant pas chimiquement entre eux et dont isolément les points critiques sont connus et peu élevés : 31° pour l'acide carbonique et 51°, 25 pour l'acide chlorhydrique. Pour les divers mélanges, les points critiques se rangent, d'après M. Gerard-Ansdell, entre ces températures, par ordre de composition, les variations n'étant pas proportionnelles à la composition centésimale des mélanges.

Nous ajouterons que M. Cailletet tenant à préciser la notion du point critique et à vérifier les idées émises par M. Jamin a, en collaboration avec M. E. Colardeau, fait de nouvelles expériences sur l'acide carbonique liquéfié coloré par l'iode (²). Ces physiciens utilisant d'ailleurs des recher-

(¹) GERARD-ANSDELL, *On the critical point of mixed Gases* (*Proceedings of the Royal Society*, t. XXXIV, p. 113; 1882).

⁽²⁾ L. CAILLETET et E. COLARDEAU, *Sur l'état de la matière au voisinage du point critique* (*Séances de la Société française de Physique*, p. 123; 1880).

ches antérieures de MM. Cailletet et Mathias (¹), sur la densité des gaz liquéfiés et de leurs vapeurs saturées, ont été amenés à conclure que la température critique d'un gaz liquéfié n'est pas celle de vaporisation totale et brusque du liquide dans l'espace qui le renferme, l'état liquide persistant au delà de cette température, ni celle d'égale densité pour le liquide et sa vapeur saturée, mais « la température à laquelle un liquide et l'atmosphère gazeuse qui le surmonte deviennent susceptibles de se dissoudre mutuellement en toutes proportions, en formant, après agitation, un mélange homogène ».

MM. Cailletet et E. Colardeau font d'ailleurs remarquer que « cette conclusion s'applique tout aussi bien au point critique observé par accroissement de pression sur les mélanges partiellement liquéfiables, tels que ceux d'acide carbonique et d'air, qu'à celui observé par l'élévation de la température sur un gaz unique liquéfié ».

Le résumé historique qui précède fait connaître les travaux relatifs à la compressibilité des mélanges gazeux. Nous voyons que, à l'exception des expériences faites incidemment par Regnault et pour de très faibles pressions, ces recherches, dont les résultats sont complexes, ont constamment été faites à des pressions élevées, dans le voisinage des points critiques. C'est ainsi que M. Cailletet a pu préciser la notion de ce point. Il était donc utile d'aborder de nouveau la question des mélanges gazeux et d'entreprendre l'étude systématique de la compressibilité de ces mélanges en faisant varier progressivement les proportions des gaz mélangés et les pressions. L'installation, dans les laboratoires de Physique des nouveaux bâtiments de la Faculté des Sciences de Toulouse, d'un manomètre à air libre de 17^m de hauteur m'a permis cette étude, que je me propose de continuer, et dont le présent travail fait connaître en détail les premiers résultats relatifs à des mélanges d'air et de gaz carbonique, d'air et d'hydrogène, de gaz carbonique et d'hydrogène, c'est-à-dire des mélanges de gaz dont l'étude individuelle avait été faite par Regnault dans son Mémoire classique *sur la loi de la compressibilité des fluides élastiques* (²).

(¹) L. CAILLETET et MATHIAS, *Densités des gaz liquéfiés et de leurs vapeurs saturées* (*Séances de la Société française de Physique*, année 1886, p. 171, et année 1887, p. 162).

(²) *Mémoires de l'Académie des Sciences de l'Institut de France*, t. XXI, p. 329 à 428; année 1847.

Avant de décrire mes recherches, je dois remercier tout particulièrement mon chef de service à la Faculté des Sciences de Toulouse, M. le professeur G. Berson, des facilités de travail qu'il a bien voulu m'accorder et de l'intérêt continu avec lequel il a suivi les progrès de cette étude. Je le prie d'agrérer l'expression de ma profonde gratitude.

J'ai encore le devoir de témoigner hautement toute ma reconnaissance à M. L. Cailletet, membre de l'Institut, dont la bienveillance m'a été un encouragement précieux dans mes recherches et qui a daigné me faire profiter de sa haute situation scientifique en communiquant à l'Académie des Sciences les Notes marquant les étapes successives de mon Travail (¹).

(¹) ULYSSE LALA, *Compressibilité des mélanges d'air et d'acide carbonique* (*Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. CXI, p. 819; 1890, 2^e semestre). — *Compressibilité des mélanges d'air et d'hydrogène* (*Comptes rendus*, t. CXII, p. 426; 1891, 1^{er} semestre).

—————

CHAPITRE I.

GÉNÉRALITÉS.

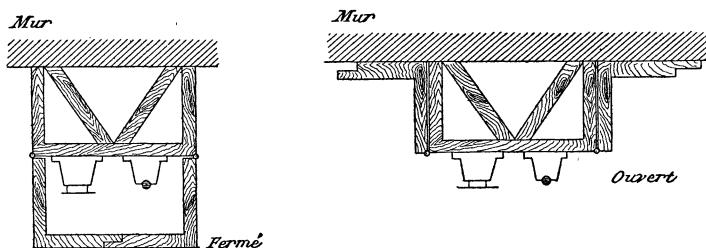
I. — DESCRIPTION DES APPAREILS.

La partie essentielle des appareils utilisés dans le cours de nos recherches étant un manomètre à mercure et à air libre, d'une hauteur totale de 17^m, installé, ainsi qu'il a déjà été dit, dans les laboratoires de Physique de la Faculté des Sciences de Toulouse, nous décrirons tout d'abord ce manomètre.

A. *Manomètre.*

Ce manomètre, analogue à celui utilisé par Regnault, a été construit par MM. Golaz et mis en place par M. Golaz fils en octobre 1889. Sa partie inférieure se trouve dans une cave bétonnée, et il traverse successivement, grâce à des ouvertures spéciales ménagées dans les plafonds et planchers, un laboratoire de recherches du professeur au rez-de-chaussée, une salle de manipulations d'élèves au premier étage, pour se terminer dans un galetas au voisinage du faîte. Un mur de refend, qui s'élève

Fig. 1.



jusqu'au galetas, sert d'appui au système, séparé d'ailleurs de ce mur par un épais madrier en chêne, solidement fixé, qui court sur toute la longueur de l'instrument et qui est soutenu d'une manière toute particulière, dans le galetas où le mur de refend fait défaut (').

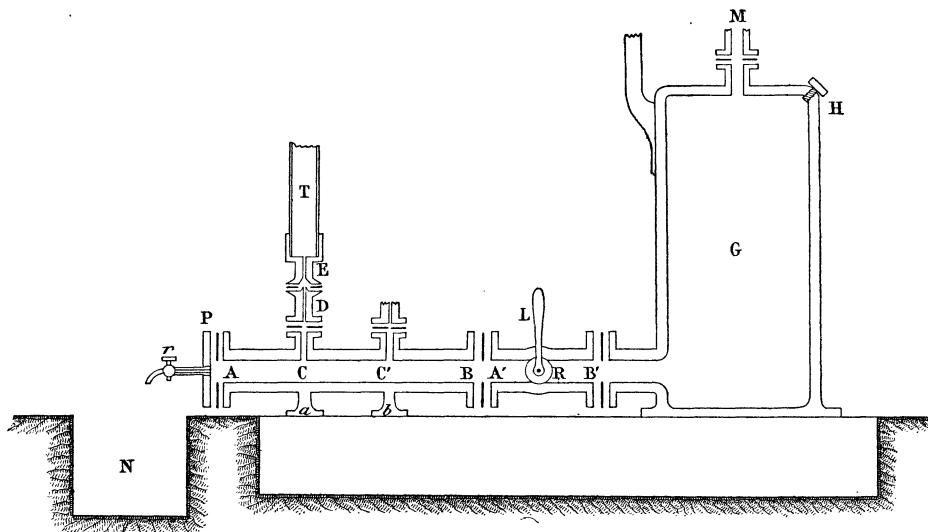
(1) Par suite d'une différence dans l'épaisseur du mur, ce madrier n'est en contact avec le mur qu'à la cave. Au rez-de-chaussée et au premier étage, il est à une certaine distance du mur, mais en est rendu solidaire par l'intermédiaire de pièces de soutien.

Cette forte planche de chêne constitue le fond d'une longue gaine également en chêne qui sert de boîte de protection à l'appareil et dont les deux portes, dans chaque salle traversée, se développent complètement, en se rabattant sur le mur, de manière à faciliter les observations. La *fig. 1* permet de se rendre compte de ce dispositif.

Une gaine en chêne protège, en outre, l'appareil dans chaque traversée de plafonds et planchers.

Partie inférieure du manomètre. — La partie inférieure du manomètre est constituée essentiellement par un premier cylindre horizontal AB (*fig. 2*) en fonte, de 25^{cm} de longueur, invariablement fixé par l'intermédiaire de deux pieds *a*, *b*, munis chacun de deux boulons scellés dans une pierre encastrée dans le béton qui constitue le sol de la cave. Ce cylindre porte, sur ses génératrices supérieures, deux tubulures verticales C, C' destinées à supporter les deux tubes du manomètre. La disposition adoptée étant la

Fig. 2.



même pour chacun des deux tubes, nous la décrirons seulement pour l'un d'eux. Sur la tête élargie du cylindre vertical, C par exemple, est boulonnée, après interposition d'un cuir, une seconde pièce verticale D élargie également à sa base et présentant intérieurement un petit canal qui fait saillie au-dessus de la base supérieure de cette pièce D. Ce canal s'engage, en traversant d'ailleurs un cuir interposé, dans la partie centrale d'une douille en fer E devant recevoir le tube qui, dans le cas actuel, est le tube-laboratoire. La douille E est fortement serrée sur la pièce D à l'aide d'un *collier*

à gorge imaginé par Regnault et bien connu de tous les physiciens. Le cuir placé entre E et D rend la fermeture d'autant plus hermétique que les deux bases en regard des pièces E et D qui comprennent, entre elles, le cuir, sont, toutes deux, munies de rayures circulaires concentriques. Quant au tube de verre T, il est solidement mastiqué dans la douille E, munie, dans ce but, de stries intérieures, à l'aide du mastic spécial fabriqué par MM. Golaz et connu sous leur nom dans les laboratoires de Physique. Le long tube ouvert du manomètre est fixé absolument de la même manière sur la tubulure C'.

Un second cylindre horizontal A'B', de 11^{cm}, 5 de longueur, continue le premier AB avec lequel il se raccorde par l'intermédiaire de bases élargies, à cuir interposé, rendues solidaires par quatre boulons. Ce prolongement du premier cylindre porte un robinet R destiné à établir ou à interrompre la communication entre le manomètre proprement dit et une pompe foulante dont nous allons bientôt parler. Ce robinet, extrêmement utile pour maintenir les fortes pressions dans le manomètre, se manœuvre néanmoins assez facilement à l'aide d'un levier L, long de 26^{cm} environ.

A la suite du cylindre A'B' se trouve, avec interposition d'un cuir, boulonné à l'aide de quatre boulons, le réservoir, en fonte, d'une pompe destinée à aspirer de l'eau et à refouler du mercure dans le manomètre. L'introduction du mercure dans le réservoir G s'effectue préalablement par l'ouverture H, qui est ensuite fermée à l'aide d'un bouchon à vis. Le réservoir G est fixé par sa base, élargie, sur la pierre qui supporte l'appareil à l'aide de boulons scellés dans cette pierre.

A la partie supérieure de ce récipient G se trouve fixée, en M, avec l'aide de cinq boulons serrant un cuir, la pompe proprement dite. Elle est en laiton et aspire, par une tubulure horizontale supérieure, l'eau contenue dans un récipient voisin. Elle présente une seconde tubulure horizontale inférieure en face d'un robinet à trois voies. Ce robinet permet, soit de comprimer le mercure par l'eau aspirée, soit d'interrompre la communication entre la pompe et son réservoir, soit de laisser échapper l'eau aspirée en provoquant ainsi une détente.

Enfin, à l'extrémité opposée du cylindre AB se trouve maintenue à l'aide de quatre boulons, avec cuir interposé, une plaque circulaire P présentant en son centre un pas de vis dans lequel vient s'adapter un robinet de vidange r. Une cavité N ménagée dans le béton permet de placer un récipient destiné à recueillir le mercure qui s'échappe par ce robinet.

Tube-laboratoire. — Le tube-laboratoire fixé dans la douille E sur la tubulure C est un tube cylindrique vertical de 1^{cm},95 de diamètre intérieur, mais dont la longueur a varié dans nos expériences, car nous avons été dans la nécessité de le changer. Au début, il était en cristal; mais, à la suite de ruptures spontanées de cette substance, nous avons adopté un tube en verre, et nous n'avons eu qu'à nous féliciter de cette substitution. On mastique, à l'aide du mastic dit *golaz*, à la partie supérieure de ce tube-laboratoire une douille en fer, à robinet, sur laquelle vient se fixer, à l'aide d'un collier doublement brisé muni de deux boulons, l'extrémité en fer soudée au tube de cuivre qui établira la communication avec le réservoir à gaz mélangés et comprimés.

Le tube-laboratoire est maintenu dans sa région supérieure par une bride métallique dont les extrémités sont fixées par deux petites vis sur une pièce de bois en forme de trapèze dont la petite base est creusée, de manière à recevoir le tube, tandis que la grande base présente deux prolongements à l'aide desquels le taquet est vissé sur le madrier de chêne fond de l'appareil. Cette bride est à un niveau moyen de 116^{cm} au-dessus du zéro de la graduation dont il sera parlé ultérieurement; elle embrassait, au début des essais, la douille supérieure à robinet du tube-laboratoire; mais, après changement de ce tube, elle serrait le verre par l'intermédiaire de fragments de liège taillés *ad hoc*.

Jaugeage du tube-laboratoire. — Pour chaque tube-laboratoire utilisé, le jaugeage a été fait, au mercure, par la méthode suivante.

Le tube-laboratoire étant en place, le tube de cuivre de communication avec le réservoir à gaz comprimés n'étant d'ailleurs pas fixé, on fait pénétrer, à l'aide de la pompe foulante, du mercure dans les deux branches du manomètre, de manière à voir ce liquide apparaître au sommet de la douille supérieure à robinet du tube-laboratoire. Puis, interrompant, à l'aide du robinet L (*fig. 2*), la communication avec la pompe, on laisse écouler très lentement le mercure par le robinet de vidange r; la lenteur de l'écoulement est telle que le niveau du mercure dans les deux branches du manomètre, qui se vident simultanément, est constamment dans un même plan horizontal. On arrête brusquement l'écoulement lorsque le niveau du mercure dans le tube-laboratoire arrive devant la division que l'on suppose indiquer le volume $\frac{1}{2}$: division où a été placé le vernier d'une règle parallèle au tube et décrite plus loin. La coïncidence est contrôlée par une visée au cathétomètre.

Le mercure écoulé étant recueilli, on laisse échapper dans les mêmes conditions celui qui est contenu entre la division $\frac{1}{2}$ supposée et la division choisie pour origine inférieure du volume 1; la coïncidence est toujours contrôlée à l'aide du cathétomètre. La comparaison, à l'aide d'une éprouvette graduée, des volumes de mercure recueillis, fait connaître le sens dans lequel on doit déplacer la division indicatrice du volume $\frac{1}{2}$. On recommence l'opération jusqu'à ce que la mesure des deux volumes de mercure donne le même résultat.

Alors on reprend les mêmes essais, en considérant la division $\frac{1}{2}$ ainsi obtenue comme une première approximation et comparant maintenant les poids de mercure écoulés dans les deux périodes d'un même essai. On adopte définitivement comme division $\frac{1}{2}$ celle pour laquelle on ne trouve aucune différence entre les poids de mercure. Remarquons qu'il est inutile de se préoccuper de la valeur absolue de ces deux poids, mais simplement de leur égalité.

Longue branche du manomètre. — Le tube constituant la longue branche ouverte du manomètre est en cristal épais et possède un diamètre intérieur de $0^{\text{cm}},45$. Il est constitué par des tubes partiels munis à leurs extrémités de tubulures métalliques permettant la jonction de ces tubes entre eux à l'aide de colliers à gorge. Ces tubes partiels, étant au nombre de 5, nécessitent l'emploi de quatre colliers à gorge situés respectivement, à partir du zéro de la graduation, aux niveaux moyens suivants :

$347 - 348$	$\overset{\text{cm}}{\text{cm}}$	pour le premier	collier à gorge,	au rez-de-chaussée;
$696 - 697$	"	deuxième	"	" ;
$1049 - 1050$	"	troisième	"	au 1 ^{er} étage;
$1398 - 1399$	"	dernier	"	au galetas;

de sorte que le premier tube partiel partant de la tubulure C' (*fig. 2*), dans la cave, pénètre au rez-de-chaussée en traversant le plafond entre les divisions $261^{\text{cm}} - 291^{\text{cm}}$. Le second tube partiel est compris entièrement dans la salle du rez-de-chaussée, mais le troisième se trouve à la fois dans cette salle et dans celle du premier dont il traverse le plancher entre les divisions $784^{\text{cm}} - 836^{\text{cm}}$. L'avant-dernier tube commence au premier étage, en traverse le plafond entre les divisions $1305^{\text{cm}} - 1350^{\text{cm}}$ et finit au galetas où se trouve en entier le dernier tube qui se termine à la division 1675^{cm} . Près de cette extrémité, se trouve un déversoir destiné à recueillir le mercure qui peut, dans certains essais, s'échapper par la partie supérieure du tube.

Des brides de soutien, disposées absolument comme il a été dit pour celle du tube-laboratoire, sont réparties le long de la colonne et assurent la verticalité et la stabilité de la longue branche du manomètre. Ces brides de soutien sont au nombre de 20 : 4 pour chaque tube (¹). On a profité de la présence des taquets sur lesquels sont fixées ces brides, pour y placer des vis supportant les thermomètres destinés à donner la température moyenne de la colonne de mercure.

Cette disposition du long tube du manomètre facilite le démontage de l'appareil qui se fait aisément avec une rapidité relative. Le cas s'est d'ailleurs présenté dès le début de cette étude, car les expériences préliminaires nous indiquaient dans les douilles de jonction, serrées par les colliers à gorge, des fuites qui provenaient de la rupture spontanée des tubes de cristal dans ces douilles, ce qui nous a mis dans la nécessité de démonter l'appareil et de refaire tous les masticages. Nous avons été ensuite assez heureux pour ne pas voir cet accident se reproduire, en ce qui concerne la longue branche du manomètre.

Règles métalliques divisées. — Parallèlement aux deux tubes du manomètre sont fixées des règles métalliques verticales, destinées aux lectures, dont il nous faut maintenant donner la description.

Courte règle. — Sur la gauche (en regardant l'appareil du tube-laboratoire, se trouve fixée, parallèlement à ce tube, une courte règle verticale en laiton argenté sur sa face divisée. Cette règle, formée d'un seul morceau, a une longueur de 120^{cm}, une largeur de 2^{cm}, 5 et une épaisseur de 0^{cm}, 38 à la température ordinaire; elle est divisée en millimètres de 0^{cm} à 119^{cm}. Elle est soutenue par trois pièces de bois vissées sur le madrier de chêne et analogues aux taquets des brides du tube, mais non creusées antérieurement. Une vis, traversant la règle, la fixe sur la pièce de bois en passant dans un petit dé métallique placé entre la règle et le morceau de bois. Ces vis de fixation sont en regard des divisions 0^{cm}, 5-55^{cm}, 5-110^{cm}, 5.

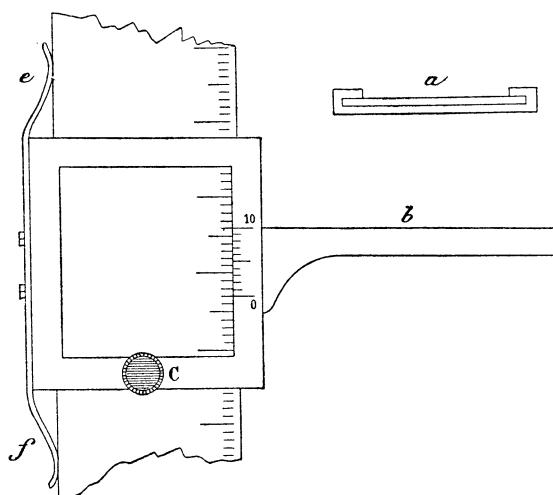
Le long de cette règle court un vernier au $\frac{1}{10}$ permettant, par suite, les

(¹) Elles sont disposées aux niveaux moyens ci-après :

		cm	cm	cm	cm
1 ^{er}	tube partiel.....	73,5	173,5	257,5	339,5
2 ^e	"	354,5	473,0	573,0	689,5
3 ^e	"	710,0	773,0	992,5	1042,5
4 ^e	"	1062,5	1172,0	1272,5	1389,5
5 ^e	"	1414,0	1474,5	1571,5	1674,0

lectures au $\frac{1}{10}$ de millimètre. Ce vernier en laiton, argenté sur sa partie graduée, affecte la forme d'un rectangle évidé de 3^{cm} de largeur sur 3^{cm}, 9 de hauteur extérieurement, la hauteur intérieure étant 2^{cm}, 35. Les côtés verticaux sont repliés de manière à embrasser les bords de la règle (*fig. 3, a*),

Fig. 3.



ce qui permet, grâce aux petits dés métalliques interposés, le passage devant les taquets de bois par l'intermédiaire desquels la règle est fixée. Une languette métallique horizontale *b* de 5^{cm}, 5 de longueur se déplace devant le tube et permet la lecture rigoureuse. Un bouton de cuivre *C*, long de 1^{cm}, 5, vissé sur le cadre constitutif du vernier, permet le déplacement de ce vernier dont la position, une fois obtenue, est assurée invariablement par un ressort *ef* qui, solidaire du vernier, appuie fortement sur la règle de manière à rendre impossible tout glissement ou tout déplacement latéral.

La graduation de cette courte règle est particulièrement bonne; nous l'avons étudiée à l'aide du cathétomètre du laboratoire, instrument qui permet d'apprécier le $\frac{1}{50}$ de millimètre, et nous avons pu constater que cette graduation est comparable à celle du cathétomètre. Le court extrait suivant des notes expérimentales le montre nettement :

Lectures (1)	
de la courte règle du manomètre.	du cathétomètre.
61,5	62,054
61,0	61,554
60,5	61,054
60,0	60,554
59,5	60,054
59,0	59,554
58,5	59,054
58,0	58,554
57,5	58,054

Longue règle. — La longue règle verticale qui court parallèlement à la gauche (en regardant l'appareil) du long tube du manomètre est identique comme nature, largeur, épaisseur et graduation en millimètres à la courte règle ; mais elle est constituée par cinq règles partielles. La première règle partielle qui comprend le zéro de la graduation (cave) s'élève à 347^{cm},7 (rez-de-chaussée) ; la suivante se termine à 700^{cm},3 également au rez-de-chaussée, la troisième à 1053^{cm},5 au premier étage, la quatrième à 1405^{cm},1 (galetas), et la dernière a pour extrémité la division la plus élevée 1675^{cm}. A chaque jonction de deux règles, celles-ci sont placées très exactement bout à bout et rendues solidaires par une plaque de cuivre située derrière elles et les maintenant à l'aide de huit petites vis : quatre pour chaque règle (*fig. 4*).

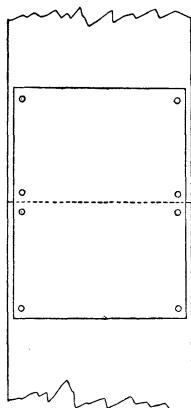
Ce mode de jonction empêche la circulation des verniers ; aussi, au moment du montage de l'appareil, le constructeur, M. Golaz, a-t-il placé sur chaque règle partielle un vernier disposé d'une manière tout à fait identique à celui, déjà décrit, de la courte règle. Cinq verniers circulent donc le long de la longue règle. Nous avons souvent regretté que ce nombre n'ait pas été augmenté et que le nombre de verniers affectés à une règle appartenant à deux étages ne soit pas de deux ; cela éviterait, en effet, en cours de lectures, par l'affectation d'un vernier à chaque partie de règle d'un étage, des manœuvres de passage du vernier unique d'un étage à un autre.

La longue règle est soutenue et fixée sur le madrier de chêne, par le pro-

(1) Lectures faites pendant une séance durant laquelle, en deux heures, la température de la cave a varié de 1°,1 : de 15°,4 à 16°,5.

cédé adopté pour la courte règle : vis pressant la règle sur des taquets de bois avec interposition de petits dés métalliques. Ces vis sont espacées de 50^{cm} en moyenne sur chaque règle (¹).

Fig. 4.



Ce mode de fixation est défectueux, car il ne permet pas la libre dilatation de la règle avec les variations de température. De là résultent des déformations, provenant également du travail du bois servant de support, dont il nous a fallu tenir compte. Nous avons donc dû, avant de commencer nos expériences définitives, étudier la règle que nous possédions.

Étude de la graduation de la longue règle. — Notre étude de la graduation de la longue règle comprend deux parties :

1^o Étude au cathétomètre de diverses régions de la règle ;

2^o Étude d'ensemble de cette règle.

Dans la première partie, les régions étudiées sont toutes celles devant lesquelles il nous a été possible d'installer notre cathétomètre dans des conditions convenables et, en particulier, celles où se trouve soit une vis de fixation de la règle, soit un raccord de deux parties de cette règle. Le cathétomètre utilisé dans ce but est celui qui nous a également servi pour la courte règle : il vise à une distance de 35^{cm} et donne le $\frac{1}{50}$ de millimètre.

(¹) Elles sont réparties de la manière suivante :

5 sur la première règle partielle (3 à la cave, 2 au rez-de-chaussée);
8 sur la seconde règle au rez-de-chaussée;
6 sur la troisième règle (2 au rez-de-chaussée, 4 au premier étage);
6 sur la quatrième règle (4 au premier étage, 2 au galetas);
6 sur la cinquième et dernière règle au galetas.

Nous avons ainsi constaté que la graduation de cette règle était très satisfaisante, ainsi que l'établissent les quelques extraits suivants :

	Lectures de la règle.	Lectures du cathétomètre.	Différences	
			partielles.	totales.
I. Au rez-de-chaussée. Température : de 14°,9 à 15°,4.	350,0	33,838	{ + 2	
	349,5	33,340	{ 0	
	349,0	32,840	{ — 2	
	348,5	32,338	{ + 2	
	348,0	31,840	{ + 4	{ 0
	Jonction de 2 règles à 347,7.			
	347,5	31,344	{ — 4	
	347,0	30,840	{ — 2	
	346,5	30,338	{ 0	
	346,0	29,838		
II. Au rez-de-chaussée. Température : 16°,1.	377,0	60,842	{ 0	
	376,5	60,342	{ 0	
	376,0	59,842	{ — 2	
	375,5	59,340	{ + 2	{ 0
	375,0	58,842	{ 0	
	374,5	58,342	{ 0	
	374,0	57,842	{ 0	
	373,5	57,342	{ 0	
	373,0	56,842		
III. Au 1 ^{er} étage. Température : de 18°,4 à 17°,9.	880,5	18,544	{ 0	
	880,0	18,044	{ + 4	{ 0
	Vis sur la règle. 17,548		{ 0	
	879,0	17,048	{ — 4	
	878,5	16,544		
IV. <i>Idem.</i>	902,0	40,036	{ 0	{ 0
	900,0	38,036	{ 0	
	898,0	36,036		
V. <i>Idem.</i>	930,5	68,536	{ 0	{ 0
	Vis sur la règle. 67,536		{ 0	
	928,5	66,536		
VI. <i>Idem.</i>	981,5	60,184	{ + 4	{ 0
	Vis sur la règle. 59,188		{ — 4	
	979,5	58,184		
VII. Au galetas. Température : 18°,6.	1394,0	19,700	{ 0	{ 0
	Vis sur la règle. 19,200		{ 0	
	1393,0	18,700		

Nous croyons inutile de multiplier ces exemples numériques; ceux qui précédent montrent, en effet, que la graduation de la règle est bonne et

qu'elle n'est pas sensiblement altérée aux jonctions des règles successives et aux vis de fixation. Mais, cette conclusion ne s'appliquant qu'à des régions isolées et relativement courtes de la règle, il était indispensable de déterminer les corrections à apporter aux lectures par suite des déformations, d'ailleurs devenues permanentes, signalées plus haut.

Le principe adopté dans cette seconde Partie, constituant l'étude d'ensemble de la règle, est fort simple. Les expériences de Regnault sur la compressibilité des gaz « sont, comme tous les travaux de l'illustre physicien, des chefs-d'œuvre d'exactitude, dont les résultats immédiats sont pour la Science des documents inattaquables et définitifs (¹) »; aussi avons-nous étudié avec notre appareil la compressibilité de l'air sec et comparé les résultats de cette première étude à ceux de Regnault. Dans ce but, nous avons adopté le procédé expérimental de Regnault qui nous a d'ailleurs servi, ainsi qu'il sera dit plus loin, dans toutes nos expériences. L'air sec, envoyé dans le tube-laboratoire du manomètre, y occupait successivement, à température constante des volumes 1 et $\frac{1}{2}$; les grandeurs physiques nécessaires aux corrections : températures, pression atmosphérique, étaient mesurées, et l'on recommençait après départ d'une certaine quantité d'air sec; puis on appliquait aux résultats les corrections adoptées par Regnault (²).

Les différences entre les nombres obtenus et ceux résultant des formules de Regnault faisaient connaître les corrections à apporter aux lectures dans les diverses régions de la règle, corrections provoquées non seulement par les déformations de la règle, mais encore par l'erreur personnelle de l'expérimentateur qui se trouvait ainsi corrigée en même temps.

Afin d'obtenir plus de symétrie et de simplicité dans les calculs, on éliminait toutes les expériences dans lesquelles les volumes 1 et $\frac{1}{2}$ n'avaient pas été rigoureusement obtenus et celles où la température de l'air comprimé avait varié. Il nous est ainsi resté 44 expériences qui ont été divisées en deux catégories absolument au hasard : 37 prises de façon à se distribuer sur toute la longueur de la règle, d'une manière à peu près uniforme, ont servi à déterminer les corrections des lectures supérieures correspondantes; les

(¹) J. VIOLE, *Cours de Physique*, t. I, p. 865.

(²) Préalablement on ajoutait à la longueur lue dans la longue branche la quantité 0^{cm},082 qui représentait à la fois le déficit capillaire dans cette branche et le défaut de correspondance, déterminé au cathétomètre, des divisions des deux règles du manomètre, à la cave.

7 autres ont servi de contrôle à ces corrections en interpolant à l'aide des 37 expériences fondamentales et comparant les résultats de ces interpolations à ceux calculés d'après les formules de Regnault. Les différences ont été extrêmement faibles; par exemple, pour la lecture $690\text{cm}, 12$, la correction était trop forte de $0\text{cm}, 101$; pour $885\text{cm}, 26$, trop faible de $0\text{cm}, 144$, et pour $1471\text{cm}, 06$, également trop faible de $0\text{cm}, 207$.

Ces expériences de contrôle ayant ainsi permis des rectifications, en réalité peu importantes, des corrections (¹), nous avons obtenu, de la sorte, 44 points répartis sur l'échelle d'une manière sensiblement uniforme et entre lesquels la correction considérée s'obtient par interpolation. Si l'on observe que les lectures inférieures servent également de contrôle, on a ainsi 88 régions dont les corrections, déterminées directement, se contrôlent mutuellement.

Nous ne croyons pas utile de reproduire la Table complète des valeurs de ces corrections qui sont toutes soustractive, ce qui s'explique par le tassement du support en chêne de l'ensemble du manomètre. Nous nous proposons, en effet, pour les recherches que nous ferons ultérieurement, de changer le mode de fixation de la longue règle et de la placer dans de meilleures conditions permettant l'utilisation immédiate de son excellente graduation. Néanmoins, nous donnerons, dans le Tableau suivant, quelques valeurs des corrections dont nous venons d'indiquer la détermination.

Lectures sur la règle.	Constantes soustractive.
$139,39$	$0,0081$
$190,27$	$0,0594$
$305,57$	$0,0905$
$392,22$	$0,2321$
$463,62$	$0,3905$
$538,12$	$0,5928$
$708,80$	$0,7549$
$885,26$	$0,9231$
$954,98$	$1,1615$
$1096,57$	$1,2393$
$1275,15$	$1,7754$
$1481,11$	$2,0680$
$1574,58$	$2,2637$

(¹) Ces sept expériences de contrôle peuvent, au premier abord, paraître insuffisantes; mais remarquons que, dans le calcul, de proche en proche, des expériences fondamentales pour obtenir les corrections des régions supérieures, on interpolait dans les régions inférieures qui se trouvaient, par ce fait, contrôlées. On avait eu, d'ailleurs, intérêt à trouver directement, par comparaison aux résultats de Regnault, le plus grand nombre possible de corrections, afin de diminuer les intervalles d'interpolation.

Nous remarquerons que ces corrections ne sont pas très importantes. Il suffit, pour s'en rendre compte, de les comparer à celles nécessitées par la réduction à 0° de la colonne de mercure dont la Table est donnée plus loin; on peut y voir, en effet, qu'une colonne de mercure de 1700^{cm} de longueur exige, à 20° , une correction soustractive de $5^{\text{cm}}, 474$.

Nous ajouterons encore que, dans le cours de notre travail, nous avons eu plusieurs fois à contrôler de nouveau ces corrections de la règle en étudiant isolément les gaz dont nous faisions des mélanges, et comparant encore les résultats obtenus dans chaque cas à ceux de Regnault (¹). Les différences étaient insignifiantes et n'ont jamais dépassé $0^{\text{cm}}, 5$ pour les lectures faites dans les régions les plus élevées de la règle. L'exactitude et la persistance des corrections étaient ainsi nettement établies.

Échelles. — Les lectures sont rendues possibles, sur la longue règle, par des échelles, ordinaires et mobiles à la cave et au galetas, spéciales et fixées à demeure au rez-de-chaussée et au premier. Celles-ci à échelons plats, présentent respectivement 20 échelons au rez-de-chaussée et 19 au premier étage. Des crampons, en fer, fixés à la partie supérieure, coulissent dans des glissières métalliques fixées sur une planche adossée au mur. On peut ainsi, sans danger, donner aux échelles des positions très voisines de la verticale ou les incliner notablement suivant les besoins. Les échelles sont d'ailleurs placées à la droite (en regardant l'appareil) de la boîte de protection du système manométrique.

B. *Thermomètres.*

Des thermomètres destinés à faire connaître la température du mélange gazeux comprimé et la température moyenne de la colonne de mercure sont disposés le long de l'appareil. Ils ont été préalablement étudiés par comparaison avec un thermomètre Baudin étalon n° 9100 gradué en $\frac{1}{10}$ de degré de -1° à 101° , et pour lequel les lectures doivent être augmentées de $0^{\circ}, 08$.

Le thermomètre destiné à fournir la température du mélange gazeux dans le tube-laboratoire est suspendu, au contact de ce tube, par l'intermédiaire d'une petite ficelle, au robinet supérieur du tube. Ce thermomètre,

(¹) On trouvera ces résultats plus loin : Chapitres II et III.

construit par M. Darsonville, est gradué de $-8^{\circ},5$ à $+33^{\circ},3$ en $\frac{1}{10}$ de degré. Il est absolument identique, au point de vue des indications, au thermomètre étalon Baudin. Ses lectures doivent donc être augmentées de $0^{\circ},08$.

Au rez-de-chaussée, vers le milieu de la colonne de mercure, appliqué contre le tube manométrique, est disposé également un autre thermomètre Darsonville divisé en $\frac{1}{10}$ de degré de $-7^{\circ},9$ à $+34^{\circ},7$. Pour celui-ci, les lectures doivent être diminuées de $0^{\circ},02$.

Dans les mêmes conditions, sont placés au premier étage et au galetas, des thermomètres divisés en degrés, mais sur lesquels l'appréciation du $\frac{1}{4}$ de degré est très aisée. Le premier est gradué de -8° à $+102^{\circ}$ et le second de -12° à $+115^{\circ}$; tous deux, comparables au thermomètre étalon, exigent pour leurs lectures une correction de $+0^{\circ},08$.

On voit que, d'après cela, les lectures directes des thermomètres sont suffisantes si l'on se contente de lire les températures en $\frac{1}{10}$ de degré, ce qui est le cas le long de la colonne de mercure. Il n'en est pas de même pour la température du mélange gazeux; le thermomètre qui la donne, lu à la loupe, fait connaître le $\frac{1}{20}$ de degré et est corrigé ainsi qu'il est dit ci-dessus.

A ce propos, nous ferons remarquer que le tube-laboratoire n'est pas entouré d'une enveloppe destinée à maintenir sa température constante. L'adjonction de cette enveloppe, qui ne pourrait que compliquer les lectures, n'a pas été reconnue nécessaire. L'étude des variations de température dans cette partie de la cave a montré, en effet, que ces variations étaient extrêmement lentes et que la constance de la température se maintenait pendant des périodes assez longues.

Le mode de construction et la situation du manomètre plaçaient tout l'instrument dans un véritable courant d'air ascendant, grâce auquel les températures se régularisaient et se maintenaient très bien le long de la colonne mercurielle.

C. Baromètre.

Le baromètre dont nous disposions était un baromètre holostérique compensé de Naudet, gradué en millimètres de 40^{cm} à 79^{cm} , sur lequel on appréciait à la loupe, sans difficulté, le $\frac{1}{3}$ de division. A ce baromètre était

annexé le procès-verbal de son étude au Bureau central météorologique de France. Il en sera parlé, de nouveau, plus loin.

D. *Récipient à mélanges gazeux.*

Ce récipient, construit sur nos indications par MM. Golaz, est en cuivre rouge, de forme cylindrique, terminé par des bases légèrement bombées brasées sur la partie cylindrique; sa hauteur totale, d'un fond à l'autre, est de 44^{cm} et son diamètre de 38^{cm}. Il a été essayé, par les constructeurs, sous une pression de 35^{atm}. Deux tubulures élargies sont ménagées sur sa base supérieure; sur chacune d'elles est boulonné, avec interposition d'un cuir, un ajutage de cuivre muni d'un robinet. La partie supérieure de chaque ajutage présente extérieurement un pas de vis sur lequel peut mordre un écrou qui glisse sur l'extrémité en fer soudée aux tubes de cuivre établissant la communication avec le tube-laboratoire ou la pompe rotative. Cet écrou, par l'intermédiaire d'un cuir, permet une fermeture hermétique à la jonction. C'est d'ailleurs le même dispositif qui est adopté pour la fixation des tubes sur la pompe rotative.

Le réservoir, dont nous venons de parler, est entièrement contenu dans une cuve cylindrique, en zinc, de 49^{cm} de diamètre sur 50^{cm} de hauteur. Cette cuve, grâce à laquelle le récipient peut être entouré d'eau, est supportée par un trépied en bois.

E. *Pompe rotative.*

Nous disposions d'une pompe rotative Golaz, aspirante et foulante, montée sur un pied en fonte et permettant la compression jusqu'à 25^{atm}, indication de son manomètre métallique (¹).

F. *Gazomètres.*

Enfin, deux petits gazomètres identiques entre eux étaient destinés à recueillir les gaz après leur purification, mais avant leur dessiccation qui s'effectuait durant le trajet nécessité par l'envoi, à l'aide de la pompe rotative, dans le réservoir spécial à mélanges.

(1) Une excellente figure de ce modèle de pompe se trouve : VIOILLE, *Cours de Physique*, t. I, p. 954, fig. 526.

Ces deux gazomètres, construits autrefois par Fortin, sont constitués chacun par une cuve en cuivre dans laquelle s'engage une cloche cylindrique, en zinc, bombée à sa partie supérieure. Cette cloche a un diamètre de 27^{cm},5 et une hauteur de 30^{cm}. Le gaz y est amené intérieurement par un tube qui vient buter contre la partie supérieure; ce tube, en T retourné, présente à sa base, deux orifices extérieurs munis chacun d'un robinet. Par l'intermédiaire de tubes en T bifurcateurs, les deux gazomètres sont réunis entre eux et avec l'appareil générateur et purificateur du gaz d'une part, entre eux et avec les appareils dessicateurs suivis de la pompe rotative d'autre part. Cette disposition permet, par l'emploi des robinets dont sont munis les gazomètres, de vider l'un de ces gazomètres pendant que l'autre se remplit. Les communications sont d'ailleurs établies à l'aide de très épais caoutchoucs à vide.

II. — MÉTHODE EXPÉRIMENTALE.

Ainsi que l'a dit M. Cailletet « les recherches de Regnault sur la compressibilité des fluides élastiques resteront dans la science comme un modèle de précision sur lequel devront se baser tous ceux qui étudieront ces difficiles questions » ('). C'est pourquoi la méthode expérimentale et les corrections adoptées, dans le travail actuel, sont naturellement celles indiquées par Regnault et décrites par lui dans son très important Mémoire *sur la loi de la compressibilité des fluides élastiques*.

Un volume du tube-laboratoire, que nous représenterons par 1, est rempli du mélange gazeux sous une pression déterminée; puis, ce mélange gazeux est comprimé de manière à n'occuper que le volume $\frac{1}{2}$, et l'on mesure la pression correspondante ainsi que les diverses grandeurs physiques indispensables pour les corrections. Cela fait, on laisse échapper une certaine quantité du mélange gazeux et l'on amène la nouvelle masse à occuper le volume 1 primitif sous une pression que l'on évalue; on recommence l'expérience et l'on continue de même pour les déterminations suivantes.

La méthode adoptée est donc celle des *pressions décroissantes* sur des masses gazeuses de plus en plus faibles et à *température constante*. Elle

(¹) L. CAILLETET, *Recherches sur la compressibilité des gaz* (*Journal de Physique*, 1^{re} série, t. VIII, p. 268; 1879).

nous présente évidemment les avantages déjà signalés par Regnault : volumes considérables occupés par le mélange gazeux, grande précision dans les mesures par suite de la fixité des repères en face desquels on amène le mercure dans le tube-laboratoire, d'où une erreur relative ne croissant pas avec la pression initiale. Mais, en outre, dans le cas actuel des mélanges gazeux, ce procédé garantit la persistance de composition du mélange pendant une série d'expériences. Ce dernier fait a d'ailleurs été contrôlé par la concordance des analyses faites au début et à la fin de chaque série de mesures. Cette méthode est celle que Regnault employait de préférence pour les gaz autres que l'air, précisément pour être « plus sûr d'opérer pendant toute une série sur un gaz parfaitement identique ».

Le principe de la méthode expérimentale étant ainsi établi et justifié, nous allons en préciser les détails.

Le mélange gazeux est préalablement emmagasiné dans le récipient, en cuivre rouge, à gaz comprimés. Dans ce but, les gaz sont extraits des gazomètres à l'aide de la pompe rotative ; ils traversent l'ensemble des appareils dessiccateurs et sont envoyés dans le récipient, en prenant des précautions spéciales qui seront signalées dans l'examen particulier de chacun des mélanges étudiés. On attend au lendemain pour faire l'analyse du mélange et pour commencer une série de mesures.

Le robinet supérieur du tube-laboratoire étant ouvert, on remplit, à l'aide de la petite pompe foulante à eau, ce tube de mercure, de manière à obtenir un bouton de mercure à la partie supérieure de ce tube. Le mercure s'élève, simultanément, à la même hauteur, dans la longue branche. Le résultat obtenu, on tourne le robinet intermédiaire entre la pompe foulante et le manomètre, pour interrompre la communication entre ces deux parties de l'appareil ; puis on fait communiquer le tube-laboratoire avec le récipient contenant le mélange gazeux, en fixant le tube de cuivre sur la douille supérieure à robinet du tube-laboratoire ; on ouvre le robinet du récipient et le mélange pénètre dans le tube-laboratoire en refoulant le mercure dans la longue branche. Mais il s'est introduit, en même temps, l'air que contenait le tube de communication ; aussi, fermant le robinet du récipient, laisse-t-on échapper le gaz introduit en dévissant très légèrement l'écrou fixant le tube de communication sur le récipient. Dès que le mercure remplit, de nouveau, le tube-laboratoire, se retrouvant à la hauteur primitive dans la branche ouverte du manomètre, on serre vivement l'écrou sur la clef duquel on a eu constamment la main ; puis, ouvrant encore le robinet

du récipient, on laisse entrer une seconde fois, le mélange gazeux dans le tube-laboratoire, pour le laisser échapper ensuite par la manœuvre que nous venons de décrire. On répète l'opération de 15 à 18 fois, ce qui constitue une série de *lavages* du tube-laboratoire par le mélange gazeux et garantit pour le mélange étudié la composition déterminée par l'analyse pour le mélange emmagasiné. Des analyses de contrôle ont permis de vérifier le fait.

Le mélange gazeux étant ainsi arrivé dans le tube-laboratoire, on ferme le robinet supérieur de ce tube et, ouvrant le robinet de communication entre le manomètre et la pompe foulante, on laisse écouler, en partie, l'eau de cette pompe, de manière à diminuer la pression et à faire occuper au mélange gazeux, dans la courte branche, le volume pris pour unité. On amène donc dans cette branche le niveau du mercure en face de la languette du vernier dont la position détermine ce volume. Cette opération nécessite souvent, surtout au début, des tâtonnements; mais on arrive, par l'usage journalier de l'appareil, à la faire rigoureusement, avec une rapidité relative (¹). On supprime la communication entre la pompe foulante et le manomètre, et l'on fait alors les lectures du baromètre et des thermomètres en se transportant le long de la colonne; on note en même temps la hauteur à laquelle s'élève le mercure dans la branche ouverte.

Puis, on rétablit la communication entre la pompe foulante et le manomètre et, par la manœuvre de la pompe foulante, on réduit le mélange gazeux à ne plus occuper que le volume $\frac{1}{2}$, en amenant le ménisque du mercure dans le tube-laboratoire en face de la languette du vernier déterminant ce volume $\frac{1}{2}$. Il est commode de réduire le volume à moins de $\frac{1}{2}$, et de laisser échapper, par le robinet à trois voies, un peu d'eau de la pompe foulante, pour revenir exactement à $\frac{1}{2}$. Dès que ce résultat est obtenu, on supprime la communication entre la pompe et le manomètre et l'on attend quelques instants, afin de laisser dissiper la chaleur produite par la compression. Puis, comme dans le cas du volume 1, on fait les lectures du baromètre, des thermomètres et du niveau du mercure dans la longue branche du manomètre (²).

(¹) La même remarque s'applique à la réduction du gaz au volume $\frac{1}{2}$ dont nous parlons ensuite. Dans le cours de ce travail, nous nous sommes astreints à obtenir très exactement les volumes 1 et $\frac{1}{2}$ préférant perdre les expériences où ces conditions ne pouvaient être réalisées, que faire les corrections que ces expériences auraient nécessitées.

(²) Nous avons rejeté systématiquement les expériences dans lesquelles nous avions constaté une variation dans la température du mélange gazeux.

Une expérience est ainsi achevée; pour passer à l'expérience suivante, il faut laisser échapper une partie du mélange. Au début de nos recherches, nous ouvrions simplement, avec rapidité, le robinet supérieur du tube-laboratoire; mais ce procédé faisait décroître trop rapidement la masse gazeuse, et ne permettait qu'un nombre assez limité d'expériences pour une même série. Aussi avons-nous ensuite opéré de la manière suivante : le tube de communication entre le tube-laboratoire et le récipient contenant le mélange restait en place, renfermant précisément le mélange considéré comme conséquence de la manœuvre d'introduction de ce mélange dans le tube-laboratoire; en dévissant légèrement l'écrou de fixation sur le récipient, on laissait échapper une partie de ce mélange de manière à diminuer sa pression dans le tube de communication. Puis, par sortie d'eau de la pompe foulante, on amenait le mélange, dans le tube-laboratoire, à occuper un volume voisin du volume 1, et, ouvrant alors le robinet du tube-laboratoire, on faisait arriver dans le tube de communication une partie du mélange contenu dans le tube-laboratoire; l'ouverture et la fermeture du robinet étant très brusques, la masse gazeuse, qui se détendait dans un volume relativement petit, diminuait peu. Par le jeu de la pompe foulante, on amenait la nouvelle masse à occuper le volume 1, et tout recommençait comme précédemment. Cette méthode d'échappement du gaz permettait des expériences rapprochées et nombreuses dans une même série et, par suite, l'étude continue du phénomène.

Nous croyons devoir ajouter que toutes les expériences étaient faites sans le secours d'aucun aide, et que l'expérimentateur a, personnellement, fait toutes les mesures et opérations nécessaires.

III. — CORRECTIONS ADOPTÉES.

Les corrections subies par les diverses lectures sont de deux ordres : celles relatives à la hauteur de mercure soulevée dans la longue branche ouverte du manomètre, et celles nécessitées par l'évaluation de la pression atmosphérique au sommet de la colonne mercurielle.

Les colonnes de mercure qui servent à mesurer les pressions des mélanges gazeux sont ramenées à la température de 0°, corrigées de la compressibilité du mercure et de la déformation de la règle. Cette dernière correction, déterminée ainsi qu'il a été dit précédemment, et qui pour

toutes les régions de la règle est soustractive, n'a jamais assez d'importance pour modifier le sens du phénomène (¹).

Réduction à 0°. — Pour ramener à 0° la longueur observée l , il suffit d'en retrancher la quantité

$$l(\alpha - k)t,$$

en appelant α et k les coefficients de dilatation linéaire du métal de la règle et de dilatation cubique du mercure, et t la température moyenne de la colonne fournie par la moyenne des lectures des thermomètres échelonnés le long de cette colonne; la règle étant en laiton,

$$\alpha = 0,000019, \quad \alpha - k = 0,000161,$$

de sorte que la quantité à soustraire est

$$l \times 0,000161 \times t,$$

dont le calcul ne présente aucune difficulté. Nous donnons, dans le Tableau suivant, quelques-unes des valeurs de cette correction utilisées dans nos calculs.

(¹) On tenait compte, tout d'abord, comme il a été dit plus haut, de la dépression capillaire dans la longue branche et du défaut de correspondance des deux règles du manomètre.

TABLEAU A. — *Réduction à 0° de la colonne de mercure*

Quantité soustractive exprimée en centimètres.

HAUTEUR observée (en centimètres).	TEMPÉRATURES.			
	10°.	15°.	20°.	25°.
100	0,1610	0,2415	0,3220	0,4025
150	0,2415	0,3622	0,4830	0,6037
200	0,3220	0,4830	0,6440	0,8050
250	0,4025	0,6037	0,8050	1,0062
300	0,4830	0,7245	0,9660	1,2075
350	0,5635	0,8452	1,1270	1,4087
400	0,6440	0,9660	1,2880	1,6100
450	0,7245	1,0867	1,4490	1,8112
500	0,8050	1,2075	1,6100	2,0125
550	0,8855	1,3282	1,7710	2,2137
600	0,9660	1,4490	1,9320	2,4150
650	1,0465	1,5697	2,0930	2,6162
700	1,1270	1,6905	2,2540	2,8175
750	1,2075	1,8112	2,4150	3,0187
800	1,2880	1,9320	2,5760	3,2200
850	1,3685	2,0527	2,7370	3,4212
900	1,4490	2,1735	2,8980	3,6225
950	1,5295	2,2942	3,0590	3,8237
1000	1,6100	2,4150	3,2200	4,0250
1050	1,6905	2,5357	3,3810	4,2262
1100	1,7710	2,6565	3,5420	4,4275
1150	1,8515	2,7772	3,7030	4,6287
1200	1,9320	2,8980	3,8640	4,8300
1250	2,0125	3,0187	4,0250	5,0312
1300	2,0930	3,1395	4,1860	5,2325
1350	2,1735	3,2602	4,3470	5,4337
1400	2,2540	3,3810	4,5080	5,6350
1450	2,3345	3,5017	4,6690	5,8362
1500	2,4150	3,6225	4,8300	6,0375
1550	2,4955	3,7432	4,9910	6,2387
1600	2,5760	3,8640	5,1520	6,4400
1650	2,6565	3,9847	5,3130	6,6412
1700	2,7370	4,1055	5,4740	6,8425

Compressibilité du mercure. — Par suite de la compressibilité du mercure, il faut transformer la hauteur observée, réduite à 0°, en ce qu'elle serait si le mercure n'était pas compressible, et conservait, dans toute sa

longueur, sa densité prise sous la pression atmosphérique normale. Nous avons adopté pour cette correction, qui est additive, la formule établie par Regnault,

$$h - z = \frac{\mu}{2}(z - 1,52)z,$$

dans laquelle $h - z$ représente la correction à ajouter à la hauteur observée z pour obtenir la hauteur normale h . La valeur du coefficient μ de compressibilité du mercure, sous une pression égale au poids d'une colonne de mercure de 1^m de longueur, est

$$\mu = 0,000004628 \text{ (1).}$$

Pour la correction actuelle, Regnault a pris

$$\mu = 0,00000463,$$

et calculé, à l'aide de la formule précédente, une Table donnant les valeurs de la correction pour des colonnes de mercure de 1^m à 25^m. C'est ce Tableau que nous avons employé pour faire la correction considérée; nous en reproduisons la partie qui nous a servi, pour interpoler, dans nos expériences.

z en centimètres.	$h - z$ en centimètres.
100	-0,00012
152	0,00000
200	+0,00024
300	+0,00102
400	+0,00229
500	+0,00402
600	+0,00619
700	+0,00886
800	+0,01198
900	+0,01555
1000	+0,01959
1100	+0,02409
1200	+0,02904
1300	+0,03448
1400	+0,04036
1500	+0,04671
1600	+0,05352
1700	+0,06079

(1) REGNAULT, *De la compressibilité des liquides, et en particulier de celle du mercure* (*Mémoires de l'Académie des Sciences de l'Institut de France*, t. XXI, p. 462; 1847).

Corrections barométriques. — Pour l'évaluation de la pression atmosphérique nous possédions, avons-nous déjà dit, un baromètre métallique Naudet qui avait été étudié au Bureau central météorologique de France. Il faut faire subir aux lectures de cet instrument une première correction proportionnelle à la hauteur barométrique à raison de $0^{\text{cm}},08$ par 10^{cm} . Les quantités à ajouter tout d'abord aux lectures sont ainsi

cm	à	cm
0,000	à	76
0,008	à	75
0,016	à	74
0,024	à	73
0,032	à	72
0,050	à	70
0,131	à	60
0,210	à	50

conformément à la Note du Bureau central météorologique jointe à l'instrument.

Cette correction faite, les lectures sont celles d'un baromètre normal à mercure; il faut donc ramener en premier lieu la lecture à la température de 0° , ce qui se fait à l'aide des Tables à double entrée de Delcros.

Une nouvelle correction provient de la nécessité d'évaluer la pression atmosphérique au sommet de la colonne mercurielle dans la grande branche ouverte du manomètre. Ici encore, nous avons utilisé la formule adoptée par Regnault,

$$z_1 - z_0 = 1839300^{\text{cm}} \log \frac{h}{h - \Delta h},$$

où $z_1 - z_0$ représente la différence de niveau entre le sommet de la colonne mercurielle et la cuvette du baromètre⁽¹⁾, h la hauteur barométrique au niveau z_0 réduite à 0° et $h - \Delta h$ cette hauteur réduite à 0° au niveau z_1 ,⁽²⁾.

(1) Ici plan horizontal passant par le centre de notre baromètre holostérique.

(2) Il faudrait, ce que ne faisait pas Regnault, tenir également compte de la hauteur moyenne de la colonne gazeuse contenue dans le tube-laboratoire: la pression moyenne de ce gaz est, en effet, plus petite que la pression supportée par la surface libre du mercure dans le tube. Nous avons également négligé cette correction du poids du gaz; car, si on

l'applique aux résultats de Regnault, les valeurs de $\frac{\left(\frac{V_0}{V_1}\right)}{\left(\frac{P_1}{P_0}\right)}$ — données par lui ne sont pas modifiées et le changement apporté aux valeurs absolues des pressions est insignifiant;

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES SUR L'ÉLASTICITÉ DES MÉLANGES GAZEUX. G.31

Dans le Tableau suivant, on trouvera les valeurs de Δh pour des valeurs de h égales à 74^{cm}, 75^{cm} et 76^{cm} et des différences de niveau croissant de 100^{cm} à 2000^{cm}. Les nombres relatifs à $h = 76^{\text{cm}}$ ont été donnés par Regnault; ceux des autres colonnes ont dû être calculés par nous; car, la hauteur barométrique moyenne, à Toulouse, étant 75^{cm}, ils nous étaient nécessaires pour les interpolations.

TABLEAU B. — *Évaluation de la pression atmosphérique au sommet de la colonne de mercure.*

$z_1 - z_0$ en centimètres.	VALEURS DE Δh (EN CENTIMÈTRES).		
	$h = 74^{\text{cm}}$.	$h = 75^{\text{cm}}$.	$h = 76^{\text{cm}}$.
100	0,0093	0,0094	0,0095
200	0,0185	0,0188	0,0190
300	0,0278	0,0282	0,0285
400	0,0371	0,0376	0,0380
500	0,0463	0,0469	0,0475
600	0,0556	0,0563	0,0571
700	0,0648	0,0657	0,0666
800	0,0741	0,0751	0,0761
900	0,0833	0,0845	0,0856
1000	0,0925	0,0938	0,0951
1100	0,1018	0,1032	0,1046
1200	0,1111	0,1126	0,1141
1300	0,1203	0,1220	0,1236
1400	0,1296	0,1313	0,1331
1500	0,1388	0,1407	0,1426
1600	0,1481	0,1501	0,1521
1700	0,1573	0,1595	0,1616
1800	0,1666	0,1688	0,1711
1900	0,1758	0,1782	0,1806
2000	0,1851	0,1876	0,1901

A l'aide de cette Table, nous déterminons tout d'abord la correction constante nécessaire pourra mener la lecture à ce qu'elle aurait été au zéro de la règle du manomètre, autrement dit, nous tenions compte de la hauteur à laquelle se trouvait le baromètre; puis, ayant ainsi la pression à 0° et au ni-

ainsi (¹), pour $z_1 - z_0 = 220^{\text{cm}}$, la pression moyenne de la colonne sous une longueur de 150^{cm} ne diffère de la pression à la base que de 0^{cm}, 157.

(¹) VIOILLE, *Cours de Physique*, t. I, p. 856.

veau σ de la graduation (c'est celle qui figure plus loin dans nos résultats expérimentaux), nous obtenions, par l'emploi du Tableau précédent, la pression atmosphérique au sommet de la colonne de mercure dans le tube ouvert du manomètre.

Variation du volume du tube-laboratoire. — Il était inutile de tenir compte de l'augmentation de capacité du tube-laboratoire à mesure que la pression intérieure augmente; car Regnault a pu établir directement que l'augmentation de capacité intérieure ne dépasse pas $\frac{1}{1666}$ sous une pression de 25^{atm} en ne produisant pas un allongement de $\frac{1}{10}$ de millimètre, sur une longueur totale de 2^m, 5. Tout récemment encore, M. E.-H. Amagat a déterminé la variation de l'élasticité du verre et du cristal avec la température, et a constaté, en comprimant extérieurement un piézomètre, qu'entre 100° et 200° cette variation est extrêmement faible et ne peut intervenir dans les expériences relatives aux gaz (¹).

IV. — REPRÉSENTATION GRAPHIQUE DES RÉSULTATS.

La complexité particulière des résultats relatifs à la compressibilité des mélanges gazeux, complexité que les travaux antérieurs permettaient d'ailleurs de prévoir, exigeait l'adoption d'un système de coordonnées, aussi simple que possible, pour mettre nettement en évidence ces résultats.

Le système de coordonnées que nous avons définitivement adopté pour la représentation graphique des résultats est le suivant : les abscisses sont les pressions initiales P_0 sous volume 1, comme l'avait fait Regnault, mais au lieu de prendre, comme lui, pour ordonnées les valeurs de la fonction

$$\frac{\left(\frac{V_0}{V_1}\right)}{\left(\frac{P_1}{P_0}\right)} - 1,$$

où $\frac{V_0}{V_1}$ est égal à 2, nous attribuons comme ordonnée à l'abscisse P_0 la différence

$$2P_0 - P_1,$$

(¹) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. CX, p. 1246; 1890.

entre le double de la pression initiale considérée représentée par l'abscisse et la pression finale relative au volume $\frac{1}{2}$.

L'ordonnée, ainsi choisie, donne une interprétation particulièrement simple des nombres expérimentaux. La différence $2P_0 - P_1$ fait connaître, en effet, l'écart entre la loi de Mariotte et la compressibilité réelle du système gazeux. Si le gaz suivait la loi de Mariotte, on aurait

$$P_1 = 2P_0,$$

et, par suite, une valeur nulle pour la différence ; l'axe des abscisses représente donc la loi de compressibilité d'un gaz parfait obéissant à la loi de Mariotte.

Si le gaz se comprime plus que ne l'indique cette loi, on a

$$P_1 < 2P_0, \quad \text{d'où} \quad 2P_0 - P_1 > 0,$$

c'est-à-dire des ordonnées positives ; c'est le cas de l'air, l'azote, le gaz carbonique ; si, au contraire, le gaz se comprime moins que ne le voudrait la loi

$$P_1 > 2P_0, \quad 2P_0 - P_1 < 0,$$

les ordonnées sont négatives : le cas se présente pour l'hydrogène.

Ainsi donc, la différence $2P_0 - P_1$ prise pour ordonnée, écart entre la loi de Mariotte et la compressibilité du gaz dont le volume V_0 sous la pression P_0 , devient $V_1 = \frac{V_0}{2}$ sous la pression P_1 , est positive si le gaz se comprime plus que ne l'indique la loi, négative dans le cas contraire.

Dans ce mode de représentation, les résultats trouvés par Regnault pour l'air, l'azote, le gaz carbonique et l'hydrogène, et qui, dans son système de coordonnées, se rangent sur des courbes qui diffèrent très peu de lignes droites, mais dont la courbure est néanmoins appréciable, se placent ici rigoureusement sur des lignes droites issues de l'origine, situées au-dessus de l'axe des abscisses pour les trois premiers gaz, au-dessous pour l'hydrogène.

Nous préciserons ce dernier point, en montrant ce que devient la formule générale de Regnault

$$\frac{P_1}{P_0} = 1 + A(m-1) + B(m-1)^2,$$

pour les divers gaz étudiés par lui et signalés ci-dessus, dans les conditions où nous nous sommes constamment placé dans le cours de ce travail, savoir

$$V_0 = 1, \quad V_1 = \frac{1}{2}, \quad m = \frac{V_0}{V_1} = 2.$$

Pour l'air atmosphérique, la formule est

$$\frac{P_1}{P_0} = 1 - A(m-1) + B(m-1)^2$$

avec

$$\log A = 3.0435120, \quad \log B = 5.2873751.$$

Par suite, il vient

$$\frac{P_1}{P_0} = 1 - 0.0011538(m-1) + 0.00001938(m-1)^2,$$

ce qui, en faisant

$$m = 2,$$

donne

$$\frac{P_1}{P_0} = 1.9977^3;$$

d'où résulte

$$2P_0 - P_1 = 0.00226P_0,$$

équation qui, dans le système de coordonnées $x = P_0$, $y = 2P_0 - P_1$, représente une droite partant de l'origine et de coefficient angulaire 0,00226.

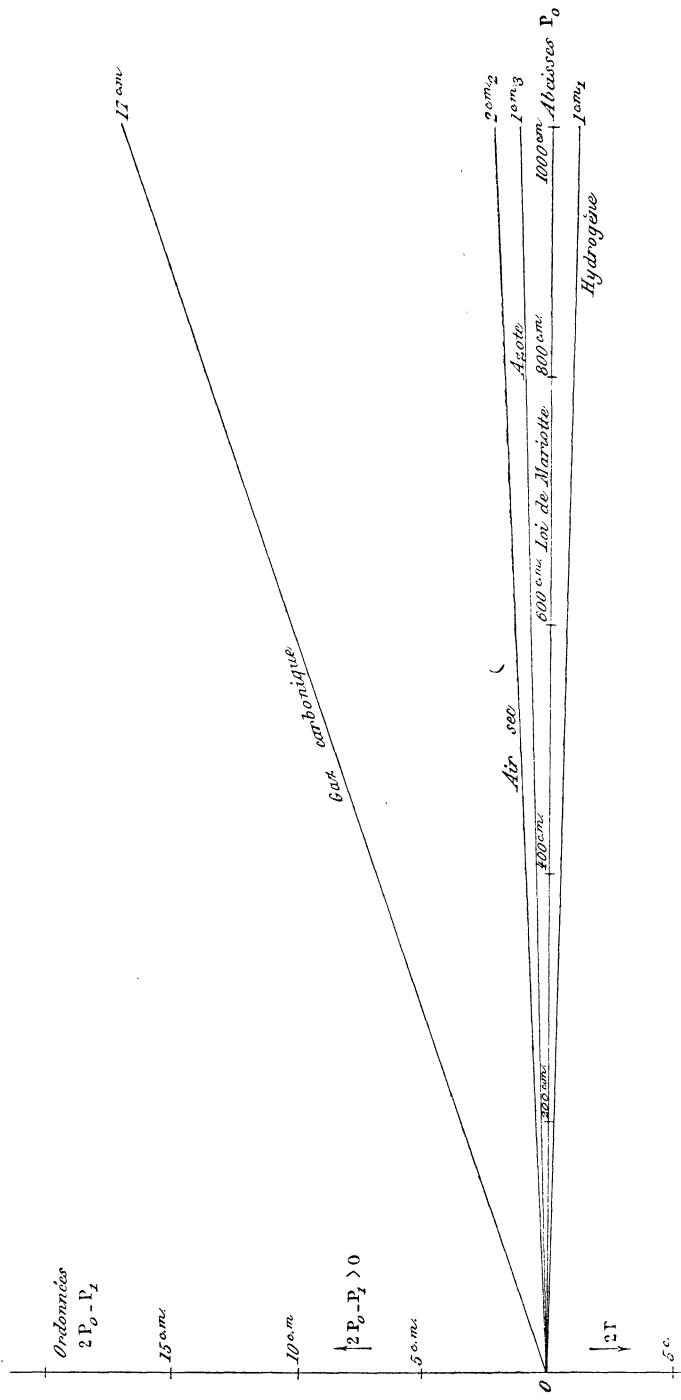
Dans le cas du gaz carbonique, la formule

$$\frac{P_1}{P_0} = 1 - A(m-1) - B(m-1)^2,$$

après les mêmes transformations que ci-dessus, devient

$$\frac{P_1}{P_0} = 1 - 0.00853178(m-1) - 0.00000728(m-1)^2,$$

Fig. 5.



et, pour $m = 2$, donne finalement

$$2P_0 - P_1 = 0,01707 P_0.$$

Dans les mêmes conditions, on obtient pour l'hydrogène

$$2P_0 - P_1 = -0,00111 P_0,$$

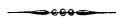
et pour l'azote

$$2P_0 - P_1 = 0,00136 P_0.$$

Ces résultats sont représentés graphiquement par la *fig. 5*, dont le tracé primitif a été fait à l'échelle de 5cm pour 200cm pour les abscisses, et de 5cm pour 10cm pour les ordonnées.

Les quatre droites figuratives des compressibilités des gaz carbonique, air, azote et hydrogène partent de l'origine et passent respectivement par les points ayant pour abscisse commune $P_0 = 1000\text{cm}^3$, et pour ordonnées correspondantes $+17\text{cm}$ pour le gaz carbonique, $+2\text{cm}$, 2 pour l'air sec, $+1\text{cm}$, 3 pour l'azote et -1cm , 1 pour l'hydrogène. La position, par rapport à ces droites figuratives, de la courbe obtenue expérimentalement avec un mélange gazeux déterminé, indiquera alors immédiatement la loi de compressibilité de ce mélange.

Les courbes représentatives originales ont été tracées sur du papier quadrillé, système L. Guiguet, en représentant 100cm par 5cm pour les abscisses P_0 et 1cm par 0cm , 5 pour les ordonnées $2P_0 - P_1$, dans le cas des mélanges d'air et de gaz carbonique, de gaz carbonique et d'hydrogène, tandis que, pour ceux d'air et d'hydrogène, l'échelle adoptée est la même pour les abscisses, mais les ordonnées sont représentées en véritable grandeur.



CHAPITRE II.

MÉLANGES D'AIR ET DE GAZ CARBONIQUE.

I. — PRÉPARATION DES MÉLANGES.

Les mélanges d'air et de gaz carbonique étudiés sont au nombre de neuf; ils contiennent respectivement 11,00, 19,36, 26,98, 33,33, 40,08, 42,70, 47,54, 56,92 et 62,50 pour 100 de gaz carbonique. Ils étaient préparés de la manière suivante.

De l'air sec était d'abord emmagasiné, sous une pression élevée, dans le récipient à gaz comprimés. Cet air, aspiré de l'extérieur par un long tube en caoutchouc, à l'aide de la pompe rotative, traversait tout d'abord l'appareil dessiccateur, composé de six longues éprouvettes desséchantes, contenant, les unes, du chlorure de calcium; les autres, de la ponce sulfurique, et disposées alternativement. Comme cet air était destiné à être mélangé avec du gaz carbonique, on ne le dépouillait pas de celui qu'il contenait. Cet air, ainsi desséché, était envoyé, par la manœuvre de la pompe rotative (¹), dans le récipient en cuivre rouge, et comprimé d'abord jusqu'à une pression de 3^{atm} environ, indiquée par le manomètre métallique de la pompe. Puis, on laissait échapper cet air comprimé, et l'on recommençait six à huit fois la même opération, de manière à être assuré d'avoir un air complètement sec dans le récipient. Dans une dernière opération, on comprimait jusqu'à 10^{atm} ou 11^{atm} l'air sec introduit.

C'est dans cet air ainsi comprimé que l'on envoyait du gaz carbonique pour constituer un premier mélange qui était analysé et étudié. Cette étude achevée, le mélange était enrichi en gaz carbonique par l'addition d'une nouvelle quantité de ce gaz, et la suite des opérations se continuait dans le même ordre.

Le gaz carbonique était préparé dans un appareil continu Sainte-Claire Deville, par l'action de l'acide chlorhydrique pur, étendu, sur du marbre

(¹) Afin d'éviter l'introduction de poussières dans les soupapes de cette pompe, un tube contenant du coton était interposé entre l'appareil dessiccateur et la pompe.

blanc, saccharoïde, compact de Saint-Béat. Le gaz obtenu était nécessairement pur; néanmoins, il pouvait entraîner de l'acide chlorhydrique, que l'on arrêtait par le passage du courant gazeux dans un flacon laveur renfermant de l'eau saturée de bicarbonate de soude, et interposé entre l'appareil générateur et les gazomètres.

Le gaz carbonique, aspiré des gazomètres par la pompe rotative, traversait d'abord un flacon bitubulé, uniquement destiné à empêcher l'eau, susceptible d'être aspirée accidentellement, de pénétrer dans les appareils dessiccateurs. Mais, avant d'introduire le gaz carbonique dans le récipient en cuivre rouge, on dévissait un peu l'écrou fixant sur ce récipient le tube de cuivre venant de la pompe, et, en manœuvrant cette pompe, on laissait perdre trois gazomètres de gaz carbonique, de manière à remplir de ce gaz l'ensemble des appareils, du gazomètre au récipient à mélanges. Cela fait, on serrait fortement l'écrou, et, ouvrant le robinet du récipient, on envoyait alors le gaz carbonique se mélanger à l'air sec.

L'analyse du mélange gazeux s'opérait, sur la cuve à mercure, par absorption du gaz carbonique à l'aide de la potasse. Le mélange gazeux était amené sous l'éprouvette graduée, dans la cuve à mercure, en fixant sur le récipient contenant le mélange une olive, qui se vissait sur l'une des tubulures à robinet. Cette olive était munie d'un caoutchouc à vide, terminé par un tube abducteur se plaçant dans la cuve à mercure. On ouvrait le robinet du récipient en cuivre rouge de manière, en laissant échapper une partie du mélange comprimé, à balayer l'intérieur du tube de caoutchouc, et, quand la durée de cette perte était suffisante, on faisait arriver le mélange dans l'éprouvette graduée. L'opération analytique était, d'ailleurs, toujours renouvelée.

II. — MÉLANGE A II POUR 100 DE GAZ CARBONIQUE.

L'étude de ce mélange comprend 16 expériences⁽¹⁾, pour lesquelles le volume initial, pris pour unité et déterminé par la division 10^{cm}, o de la courte règle, valait 325^{cm}³, 526; le volume $\frac{1}{2}$ correspondait à la division 64^{cm}, 5. La pression initiale, sous volume 1, a varié de 171^{cm}, 845 à 791^{cm}, 329 de mercure. Dans ces limites, la compressibilité de ce mélange

(1) Chacune de nos expériences correspond à un couple de deux expériences de Regnault.

est constamment intermédiaire entre celles de l'air sec et du gaz carbonique considérés isolément; les points représentatifs se rangent, en effet, entre les deux lignes droites relatives aux gaz isolés, et le tracé de la courbe montre que l'élasticité du mélange, tout d'abord plus voisine de celle de l'air que de celle du gaz carbonique, se rapproche de celle-ci à mesure que la pression initiale s'élève, et présente une tendance, qui s'affirme, pour les valeurs de P_0 supérieures à 700cm , à devenir égale et même plus grande que celle du gaz carbonique. Pour les pressions initiales faibles, inférieures à 250cm de mercure, la courbe sensiblement rectiligne se dirige visiblement vers l'origine des coordonnées. Le Tableau suivant donne les résultats expérimentaux.

N° d'ordre des expé- riences.	TEMPÉRA- TURE du mélange gazeux.	PRESSION atmosphérique à 0° et niveau 0.	PRESSION initiale P_0 sous volume 1.	TEMPÉRA- TURE de la colonne de mercure	PRESSION finale P_1 sous volume $\frac{1}{2}$.	TEMPÉRA- TURE de la colonne de mercure	DIFFÉRENCES $2P_0 - P_1$
1	18,2	75,678	791,329	18,3	1573,315	18,4	+ 9,343
2	18,2	75,679	738,120	18,2	1468,125	18,3	+ 8,115
3	18,3	75,676	666,894	18,4	1327,168	18,4	+ 6,620
4	19,0	75,598	656,051	19,1	1305,620	19,6	+ 6,482
5	19,0	75,598	649,325	19,1	1292,268	19,6	+ 6,382
6	18,5	75,624	605,649	18,3	1205,697	18,7	+ 5,601
7	19,1	75,587	562,620	19,0	1120,243	19,6	+ 4,997
8	18,1	75,638	539,951	18,3	1075,387	18,5	+ 4,515
9	18,6	75,622	508,369	18,8	1012,705	19,0	+ 4,033
10	18,3	75,610	465,969	18,6	928,466	18,9	+ 3,472
11	19,0	75,618	435,028	19,1	866,880	19,6	+ 3,176
12	17,7	75,634	385,499	18,0	768,342	18,3	+ 2,656
13	18,5	75,624	305,695	18,5	609,659	18,3	+ 1,731
14	18,5	75,624	244,707	18,5	487,991	18,3	+ 1,423
15	17,5	75,637	192,949	17,5	384,696	17,8	+ 1,202
16	18,7	75,622	171,845	18,7	342,532	18,5	+ 1,158

III. — MÉLANGE A 19,35 POUR 100 DE GAZ CARBONIQUE.

Le nombre d'expériences est de 19; le volume 1, déterminé par la division 10cm^3 , 0, vaut $325\text{cm}^3,526$; le volume $\frac{1}{2}$ correspond à la division $64\text{cm}^3,5$; la pression initiale varie de 110cm , 394 à 804cm , 640 de mercure.

Comme pour le mélange à 11 pour 100, la compressibilité de celui-ci est

constamment comprise, dans les limites indiquées, entre celles de l'air et du gaz carbonique, en se rapprochant de celle-ci, dans les mêmes conditions que le précédent mélange, à mesure que la pression augmente, et présentant, soit aux pressions élevées, soit aux faibles pressions, les mêmes caractères que ce mélange. Néanmoins, la courbe du mélange actuel est toujours au-dessus de celle du mélange à 11 pour 100, ce qui indique que l'addition de gaz carbonique a rapproché la compressibilité du mélange de celle de ce dernier gaz. Voici les nombres fournis par les expériences :

N° d'ordre des expé- riences.	TEMPÉRA- TURE du mélange gazeux.	PRESSION atmosphérique à 0° et niveau 0.	PRESSION initiale P_0 sous volume 1.	TEMPÉRA- TURE de la colonne de mercure	PRESSION finale P_1 sous volume $\frac{1}{2}$.	TEMPÉRA- TURE de la colonne de mercure	DIFFÉRENCES $2P_0 - P_1$
1	20,2	75,260	804,640	20,6	1598,785	21,7	+ 10,495
2	20,1	75,260	768,703	20,6	1528,189	21,6	+ 9,217
3	19,2	75,322	758,715	19,5	1508,288	19,9	+ 9,142
4	20,2	75,260	706,884	20,9	1405,663	21,7	+ 6,621
5	19,2	75,322	634,494	19,5	1262,367	19,9	+ 6,287
6	20,3	75,257	618,821	20,7	1231,355	21,3	+ 5,718
7	20,3	75,257	577,196	20,8	1148,674	21,5	+ 4,926
8	19,1	75,321	527,586	19,5	1050,246	20,3	+ 4,702
9	19,0	75,287	499,192	19,6	993,682	20,3	+ 4,519
10	18,5	75,329	484,236	19,0	963,953	19,5	+ 3,815
11	19,2	75,322	436,959	19,6	870,103	20,1	+ 3,307
12	18,5	75,329	359,984	19,0	716,661	19,0	+ 2,285
13	18,6	75,319	285,679	18,6	569,073	19,1	+ 2,170
14	18,5	75,320	267,351	18,5	532,532	19,0	+ 1,732
15	19,5	75,317	212,145	19,5	422,558	19,8	+ 1,573
16	18,6	75,328	187,633	18,6	373,693	19,2	+ 1,568
17	19,7	75,326	183,537	17,9	365,506	18,6	+ 1,398
18	18,0	75,392	158,673	18,0	315,948	18,6	+ 0,911
19	19,6	75,316	110,394	19,6	219,877	19,6	

IV. — MÉLANGE A 26,98 POUR 100 DE GAZ CARBONIQUE.

Ici encore, les volumes sont déterminés par les divisions 10^{cm}, 0 pour V_0 et 64^{cm}, 5 pour V_1 . Le Tableau des résultats contient 20 expériences et la pression initiale y varie de 105^{cm}, 821 à 786^{cm}, 231, comme on le voit ci-après :

RECHERCHES EXPÉIMENTALES SUR L'ÉLASTICITÉ DES MÉLANGES GAZEUX. G.41

N ^o s d'ordre des expé- riences.	TEMPÉRA- TURE du mélange gazeux.	PRESSION atmosphérique à 0° et niveau 0.	PRESSION initiale P_0 sous volume 1.	TEMPÉRA- TURE de la colonne de mercure	PRESSION finale P_1 sous volume $\frac{1}{2}$.	TEMPÉRA- TURE de la colonne de mercure	DIFFÉRENCES $2P_0 - P_1$
1	20,2	75,080	786,231	20,7	1552,895	21,9	+19,567
2	20,7	75,055	733,798	21,0	1451,023	22,2	+16,573
3	19,7	75,065	668,321	20,5	1322,927	21,5	+13,716
4	19,2	75,102	652,265	20,1	1291,316	20,9	+13,214
5	20,6	75,075	626,733	21,0	1241,159	21,9	+12,307
6	19,4	75,100	585,209	20,2	1159,623	21,0	+10,795
7	20,0	75,478	548,073	20,0	1086,643	20,7	+9,503
8	19,7	75,284	539,399	20,0	1069,501	20,8	+9,298
9	19,8	75,481	496,594	20,5	985,448	21,2	+7,740
10	19,8	75,085	476,327	20,4	945,649	21,2	+7,005
11	19,8	75,491	458,318	20,5	910,235	21,2	+6,401
12	19,8	75,491	416,019	20,6	826,781	21,2	+5,257
13	19,8	75,085	367,771	19,8	731,329	20,4	+4,213
14	19,7	75,086	319,200	19,7	634,886	20,4	+3,514
15	19,9	75,490	297,369	19,9	591,617	20,6	+3,121
16	19,9	75,490	256,167	19,9	509,884	20,6	+2,450
17	20,0	75,498	218,013	20,0	434,046	20,8	+1,980
18	19,9	75,084	158,663	19,9	315,758	20,5	+1,568
19	20,1	75,497	119,409	20,1	237,594	20,1	+1,224
20	20,0	75,083	105,821	20,0	210,629	20,0	+1,013

La tendance présentée par les mélanges précédents est ici mise nettement en évidence : la compressibilité du mélange, d'abord sensiblement linéaire, et tendant vers l'origine, pour des pressions initiales faibles inférieures à 230^{cm} de mercure, est, pendant une certaine période, intermédiaire entre celles de l'air et du gaz carbonique. Mais la pression P_0 augmentant, cette compressibilité non seulement se rapproche de celle du gaz carbonique, mais encore la dépasse. La courbe du mélange coupe donc la droite du gaz carbonique. Le passage a lieu, sensiblement à l'expérience 8, pour une valeur très voisine de

$$P_0 = 539^{\text{cm}}, 399.$$

Nous obtenons, en effet, dans ce cas, pour le mélange,

$$P_1 = 1069^{\text{cm}}, 501,$$

tandis que la formule de Regnault, appliquée au gaz carbonique, donne,

Fac. de T. — v.

G.6

pour celui-ci,

$$P_1 = 1069^{\text{cm}}, 586.$$

L'ordonnée du mélange à l'abscisse 539,399 est ainsi 9^{cm}, 298 et celle du gaz carbonique 9^{cm}, 213.

V. — MÉLANGE A 33,33 POUR 100 DE GAZ CARBONIQUE.

Comme pour le précédent, on a

$$V_0 = 325^{\text{cm}^3}, 526.$$

Division déterminant le volume V_0	10 ^{cm} , 0
Division déterminant le volume V_1	6,4 ^{cm} , 5
Nombre d'expériences.....	20
Limite inférieure des pressions initiales.....	86 ^{cm} , 231
Limite supérieure des pressions initiales.....	774 ^{cm} , 911

La compressibilité de ce mélange, toujours plus grande que celle du mélange précédent à 26,98 pour 100 de gaz carbonique, présente les mêmes caractères : intermédiaire pour les petites pressions entre celles de l'air et du gaz carbonique, elle dépasse celle-ci quand la pression initiale est suffisamment grande ; le point de passage correspond sensiblement à l'abscisse $P_0 = 459^{\text{cm}}$.

N° d'ordre des expé- riences.	TEMPÉRA- TURE du mélange gazeux.	P <small>RESSION</small> atmosphérique à 0° et niveau 0.	P <small>RESSION</small> initiale P_0 sous volume 1.	TEMPÉRA- TURE de la colonne de mercure	P <small>RESSION</small> finale P_1 sous volume $\frac{1}{2}$.	TEMPÉRA- TURE de la colonne de mercure	D <small>IFFÉRENCES</small> $2P_0 - P_1$.
1	20,0	75,073	774,911	20,6	1525,635	21,7	+24,187
2	20,3	75,069	742,363	20,8	1464,974	21,8	+20,653
3	20,5	75,027	710,332	21,1	1402,600	22,2	+18,064
4	20,0	75,092	671,461	20,6	1326,990	21,5	+15,932
5	20,5	75,018	650,712	21,1	1286,515	21,9	+14,909
6	20,3	75,059	618,209	20,9	1222,969	21,7	+13,449
7	20,5	75,007	572,436	21,1	1133,089	22,0	+11,783
8	20,1	75,072	530,415	20,8	1050,632	21,6	+10,198
9	20,1	75,131	510,752	20,9	1012,008	21,6	+9,496
10	19,2	75,102	505,948	20,0	1002,635	20,7	+9,261
11	20,0	75,092	478,638	20,7	948,850	21,5	+8,426
12	19,4	75,099	466,817	20,0	925,518	20,8	+8,116
13	19,8	75,126	425,467	20,4	844,319	21,3	+6,615
14	20,3	75,158	388,942	21,0	772,184	21,0	+5,700
15	20,3	75,158	289,570	20,3	575,749	21,0	+3,391
16	19,9	75,123	268,633	19,9	534,290	20,5	+2,977
17	19,5	75,098	231,007	19,5	459,538	20,0	+2,476
18	19,6	75,097	164,875	19,6	327,956	20,0	+1,794
19	19,7	75,096	151,138	19,7	300,663	19,7	+1,613
20	19,6	75,097	86,231	19,6	171,484	19,6	+0,978

VI. — MÉLANGE A 40,08 POUR 100 DE GAZ CARBONIQUE.

Nous avons ici encore

$$V_0 = 325^{\text{cm}^3}, 526.$$

Division déterminant le volume V_0	10 ^{cm} , 0
Division déterminant le volume V_1	64 ^{cm} , 5
Nombre d'expériences.....	19
Limite inférieure des pressions initiales.....	127 ^{cm} , 714
Limite supérieure des pressions initiales.....	834 ^{cm} , 317

Nous constatons absolument la même loi de compressibilité que pour les deux mélanges précédents; c'est pour $P_0 = 253^{\text{cm}}$ environ que la compressibilité, primitivement intermédiaire entre celles de l'air et du gaz carbonique, dépasse celle de ce dernier gaz. Observons ici que la valeur de P_0 qui correspond au passage diminue à mesure que la richesse, en gaz carbonique, croît.

N° d'ordre des expé- riences.	TEMPÉRA- TURE du mélange gazeux.	PRESSION atmosphérique à 0° et niveau 0.	PRESSION initiale P_0 sous volume 1.	TEMPÉRA- TURE de la colonne de mercure	PRESSION finale P_1 sous volume $\frac{1}{2}$.	TEMPÉRA- TURE de la colonne de mercure	DIFFÉRENCES $2P_0 - P_1$
1	20,2	75,060	834,317	20,9	1613,960	21,9	+54,674
2	19,4	75,021	792,340	20,0	1536,188	20,5	+48,492
3	19,9	75,044	742,668	20,5	1443,849	21,2	+41,487
4	20,3	75,069	721,233	21,0	1403,952	22,0	+38,514
5	20,4	75,078	631,903	21,1	1236,308	21,7	+27,498
6	19,9	75,054	616,687	20,6	1207,588	21,1	+25,787
7	20,5	75,077	598,196	21,1	1172,515	21,8	+23,877
8	20,5	75,067	555,547	21,1	1091,801	21,8	+19,293
9	19,7	75,017	522,173	20,5	1027,455	21,0	+16,891
10	19,7	75,007	488,470	20,5	962,118	21,1	+14,822
11	18,5	75,080	470,934	19,5	928,067	20,3	+13,801
12	19,2	75,047	436,991	20,0	861,892	20,8	+12,091
13	19,8	75,016	367,290	20,5	725,764	20,6	+ 8,816
14	19,9	75,015	309,322	19,9	612,312	20,6	+ 6,332
15	19,2	75,042	300,750	19,2	595,487	20,0	+ 6,013
16	19,9	75,024	223,763	19,9	444,483	20,6	+ 3,043
17	20,0	75,047	180,929	20,0	359,574	20,7	+ 2,284
18	20,1	75,061	172,934	20,1	343,690	20,7	+ 2,178
19	20,2	75,060	127,714	20,2	253,817	20,2	+ 1,611

VII. — MÉLANGE A 42,70 POUR 100 DE GAZ CARBONIQUE.

Les 26 expériences relatives à ce mélange, dont les repères sont ceux des mélanges précédents et pour lequel les pressions initiales croissent de 107^{cm}, 415 à 724^{cm}, 203, nous donnent toujours le même aspect pour le phénomène; la pression initiale pour laquelle la compressibilité du mélange, cessant d'être intermédiaire entre celles des deux gaz constituants, dépasse celle du gaz carbonique est ici de 174^{cm} environ et s'est encore abaissée.

N° d'ordre des expé- riences.	TEMPÉRA- TURE du mélange gazeux.	P <small>RESSION</small> atmosphérique à 0° et niveau 0.	P <small>RESSION</small> initiale P ₀ sous volume 1.	TEMPÉRA- TURE de la colonne de mercure	P <small>RESSION</small> finale P ₁ sous volume $\frac{1}{2}$.	TEMPÉRA- TURE de la colonne de mercure	D <small>IFFÉRENCES</small> $2P_0 - P_1$
1	18,3	75,995	724,203	18,8	1407,839	19,6	+40,567
2	18,7	75,425	710,587	19,2	1382,311	19,7	+38,863
3	19,1	75,420	651,055	19,4	1270,492	19,5	+31,618
4	18,6	75,991	623,873	19,1	1219,248	19,7	+28,498
5	18,9	75,413	606,486	19,3	1186,293	19,8	+26,679
6	18,7	76,000	584,523	19,1	1144,655	19,7	+24,391
7	19,4	75,417	562,470	20,1	1102,775	20,0	+22,165
8	18,7	76,000	547,936	19,1	1075,064	19,8	+20,808
9	18,9	75,997	511,975	19,2	1006,128	19,9	+17,822
10	19,6	75,414	507,897	19,8	998,202	20,1	+17,592
11	19,0	75,996	480,799	19,4	946,072	20,0	+15,526
12	19,4	75,991	451,601	19,8	889,347	20,3	+13,855
13	19,5	75,980	423,532	20,0	834,664	20,5	+12,400
14	19,6	75,988	397,679	20,0	784,176	20,0	+11,182
15	19,7	75,987	376,048	19,7	742,026	20,1	+10,026
16	19,8	75,976	312,504	19,8	617,758	20,1	+7,250
17	19,8	75,976	294,993	19,8	583,333	20,1	+6,653
18	17,3	75,946	272,565	17,3	539,367	18,0	+5,763
19	17,4	75,955	257,131	17,4	508,937	17,9	+5,325
20	17,5	75,963	243,101	17,5	481,360	18,0	+4,842
21	17,7	75,951	231,318	17,7	458,181	18,0	+4,455
22	17,8	75,950	201,544	17,8	399,480	18,1	+3,608
23	18,2	75,946	191,055	18,2	378,716	18,3	+3,394
24	18,1	75,957	167,440	18,1	332,083	18,1	+2,797
25	18,3	75,965	153,108	18,3	303,750	18,4	+2,466
26	18,4	75,974	107,415	18,4	213,309	18,4	+1,521

VIII. — MÉLANGE A 47,54 POUR 100 DE GAZ CARBONIQUE.

Pendant l'étude de ce mélange, le tube-laboratoire a dû être changé; les expériences numérotées 8, 16, 17, 18 correspondent au premier tube pour lequel on avait :

$$\begin{array}{ll} \text{Division déterminant le volume initial } V_0. \dots & 10^{\text{cm}} , 0 \\ \text{Division déterminant le volume final } V_1. \dots & 64^{\text{cm}} , 5 \end{array}$$

$$V_0 = 325^{\text{cm}}{}^3 , 526.$$

Pour les autres expériences faites avec le second tube, plus long que le

précédent, on a

$$\begin{array}{lll} \text{Division origine du volume } V_0 & \dots & 15^{\text{cm}}, 0 \\ \text{Division origine du volume } V_1 & \dots & 71^{\text{cm}}, 0 \end{array}$$

$$V_0 = 334^{\text{cm}}{}^3, 486.$$

La manière très satisfaisante dont les 19 expériences des deux séries s'intercalent entre elles, prouve évidemment, à la fois, l'exactitude des déterminations expérimentales et la constance de composition du mélange gazeux.

N° d'ordre des expé- riences.	TEMPÉRA- TURE du mélange gazeux.	PRESSION atmosphérique à 0° et niveau 0.	PRESSION initiale P_0 sous volume 1.	TEMPÉRA- TURE de la colonne de mercure	PRESSION finale P_1 sous volume $\frac{1}{2}$.	TEMPÉRA- TURE de la colonne de mercure	DIFFÉRENCES $2P_0 - P_1$
1	20,4	74,533	801,057	20,9	1543,645	21,6	+58,469
2	20,0	74,568	703,124	20,6	1360,158	21,3	+46,090
3	20,5	74,522	671,030	21,0	1299,918	21,5	+42,142
4	20,2	74,556	572,912	20,8	1116,486	21,2	+29,338
5	19,9	74,716	551,725	20,6	1076,875	21,0	+26,575
6	20,1	74,736	536,972	20,6	1049,350	21,0	+24,594
7	20,7	74,711	513,458	21,2	1005,376	21,5	+21,540
8	19,7	75,581	491,079	20,3	963,056	20,5	+19,102
9	20,5	74,514	482,062	21,0	945,851	21,5	+18,273
10	20,7	74,701	444,752	21,2	874,133	21,5	+15,371
11	20,3	74,723	432,467	20,8	850,533	21,2	+14,401
12	20,8	74,707	380,190	21,3	749,008	21,3	+11,372
13	20,4	74,721	373,951	20,9	736,904	21,0	+10,998
14	20,6	74,503	323,978	20,6	639,250	21,0	+ 8,706
15	20,8	74,700	293,070	20,8	578,740	21,3	+ 7,400
16	20,2	75,139	285,513	20,2	563,923	20,6	+ 7,103
17	19,9	75,568	252,912	19,9	499,764	20,2	+ 6,060
18	20,0	75,567	209,977	20,0	415,484	20,2	+ 4,470
19	20,7	74,493	165,050	20,7	326,582	21,1	+ 3,518

Pour le mélange actuel et dans les limites de pression initiale inscrites au Tableau précédent, la compressibilité a été constamment plus grande que celle du gaz carbonique et elle continue d'augmenter avec la pression initiale. La courbe représentative présente d'ailleurs, comme les précédentes, une apparence hyperbolique.

IX. — MÉLANGE A 56,92 POUR 100 DE GAZ CARBONIQUE.

Dans l'étude de ce mélange, nous avons :

Volume initial V_0	$334\text{cm}^3,486$
Division déterminant V_0	$15\text{cm},0$
Division déterminant V_1	$71\text{cm},0$
Nombre d'expériences.....	35
Limite inférieure des pressions initiales.....	$100\text{cm},381$
Limite supérieure des pressions initiales.....	$815\text{cm},397$

Entre ces limites, la compressibilité du mélange est encore plus grande que celle du gaz carbonique, mais elle ne tend plus à s'en écarter. Si on la compare à celle du mélange précédent, on constate, en effet, que, pour les pressions supérieures à 700cm environ, le mélange actuel a une compressibilité plus faible, plus voisine de celle du gaz carbonique, de sorte que sa courbe représentative traverse, un peu au-dessus de $P_0 = 700\text{cm}$, celle du mélange précédent, pour s'intercaler entre elle et la droite du gaz carbonique. Il y a donc une tendance très nette, d'ailleurs également visible pour les pressions faibles, à revenir à la compressibilité du gaz carbonique. On conçoit d'ailleurs que l'écart ne pouvait croître constamment, et que, la richesse en gaz carbonique augmentant, la compressibilité du mélange doit, après l'écart constaté, se rapprocher indéfiniment de celle du gaz carbonique à mesure que le mélange s'enrichit en gaz.

N° d'ordre des expé- riences.	TEMPÉRA- TURE du mélange gazeux.	PRESSION atmosphérique à 0° et niveau 0.	PRESSION initiale P_0 sous volume 1.	TEMPÉRA- TURE de la colonne de mercure	PRESSION finale P_1 sous volume $\frac{1}{2}$.	TEMPÉRA- TURE de la colonne de mercure	DIFFÉRENCES $2P_0 - P_1$
1	10,7	75,593	815,397	11,5	1571,644	10,7	+59,150
2	10,8	75,620	777,002	11,6	1499,410	10,8	+54,594
3	12,1	75,178	767,289	12,2	1481,256	11,3	+53,316
4	11,4	75,400	748,090	11,8	1445,011	11,0	+51,187
5	12,0	75,179	702,038	12,0	1357,880	11,5	+46,196
6	11,8	75,191	642,709	12,0	1245,347	12,0	+40,071
7	11,5	75,611	631,745	11,9	1224,490	11,7	+39,000
8	11,7	75,619	595,300	12,2	1155,125	11,9	+35,475
9	12,2	75,721	583,630	12,7	1132,706	12,7	+34,554
10	11,9	75,626	559,685	12,3	1087,108	12,0	+32,262
11	12,1	75,624	528,749	12,4	1028,223	12,1	+29,275
12	12,9	75,852	500,545	13,3	974,214	13,2	+26,876
13	13,0	75,856	456,912	13,4	890,596	13,3	+23,228
14	13,1	75,861	443,135	13,5	864,374	13,3	+21,956
15	13,1	75,871	416,167	13,5	812,505	13,4	+19,739
16	13,1	75,871	392,149	13,5	766,298	13,6	+18,000
17	13,1	75,880	369,661	13,6	722,826	13,7	+16,496
18	13,2	75,889	349,599	13,6	684,039	13,6	+15,159
19	13,3	75,898	329,429	13,3	645,091	13,7	+13,767
20	13,4	75,897	310,706	13,4	608,861	13,7	+12,551
21	13,4	75,906	291,729	13,4	577,996	13,7	+11,462
22	13,9	75,929	278,762	13,9	547,087	13,9	+10,437
23	14,1	75,908	262,373	14,1	515,307	14,0	+ 9,439
24	14,3	75,888	232,740	14,3	457,951	13,9	+ 7,529
25	14,3	75,888	218,824	14,3	430,855	14,0	+ 6,793
26	12,2	75,870	201,573	12,2	397,330	12,5	+ 5,816
27	12,2	75,870	196,775	12,2	387,870	12,5	+ 5,680
28	12,2	75,870	187,574	12,2	369,864	12,4	+ 5,284
29	12,1	75,881	164,005	12,1	323,704	12,2	+ 4,306
30	12,1	75,881	160,156	12,1	316,210	12,2	+ 4,102
31	12,1	75,881	147,367	12,1	290,978	12,2	+ 3,756
32	12,1	75,881	138,428	12,1	273,453	12,1	+ 3,403
33	12,0	75,883	128,280	12,0	253,448	12,0	+ 3,112
34	12,1	75,881	114,636	12,1	226,481	12,1	+ 2,791
35	12,4	75,878	100,381	12,4	198,364	12,4	+ 2,398

X. — MÉLANGE A 62,50 POUR 100 DE GAZ CARBONIQUE.

La tendance au retour vers la compressibilité du gaz carbonique, que nous indiquait le mélange précédent, est nettement établie par l'étude de

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES SUR L'ÉLASTICITÉ DES MÉLANGES GAZEUX. G.49

la compressibilité du mélange actuel pour les 29 expériences duquel on a même valeur de V_0 et mêmes repères que pour le mélange précédent. La pression initiale varie ici de 115^{cm}, 738 à 793^{cm}, 046.

N ^o d'ordre des expé- riences.	TEMPÉRA- TURE du mélange gazeux.	PRESSION atmosphérique à 0° et niveau 0.	PRESSION initiale P_0 sous volume 1.	TEMPÉRA- TURE de la colonne de mercure	PRESSION finale P_1 sous volume $\frac{1}{2}$.	TEMPÉRA- TURE de la colonne de mercure	DIFFÉRENCES $2P_0 - P_1$
1	12,6	75,598	793,046	12,1	1532,623	11,4	+53,469
2	12,7	75,597	731,006	12,3	1414,714	11,6	+47,298
3	12,8	75,616	694,498	12,4	1345,263	11,6	+43,725
4	12,7	75,646	618,724	12,4	1201,341	12,0	+36,107
5	12,5	74,589	603,156	12,6	1171,815	12,2	+34,497
6	12,9	75,663	597,361	12,5	1160,721	12,2	+34,001
7	13,0	75,662	575,568	12,9	1119,350	12,3	+31,786
8	12,6	74,578	562,150	12,7	1093,759	12,1	+30,541
9	13,2	75,660	548,757	12,8	1068,198	12,4	+29,306
10	13,2	75,660	517,330	12,8	1008,387	12,4	+26,273
11	13,3	75,659	488,863	12,9	954,029	12,8	+23,697
12	12,6	74,588	482,722	12,6	942,117	12,2	+23,331
13	12,6	74,608	453,338	12,6	886,142	12,1	+20,534
14	12,7	74,607	440,122	12,6	860,706	12,1	+19,538
15	12,8	74,596	380,660	12,7	746,157	12,7	+15,163
16	12,9	74,585	366,104	12,7	718,015	12,6	+14,193
17	12,6	74,341	303,060	12,6	596,075	12,0	+10,045
18	12,8	74,358	285,203	12,8	561,319	12,3	+9,087
19	13,1	74,375	267,768	13,1	527,508	12,5	+8,028
20	13,1	74,375	255,190	13,1	503,074	12,5	+7,306
21	13,1	74,375	241,634	13,1	476,643	12,6	+6,625
22	13,2	74,384	218,516	13,2	431,320	12,6	+5,712
23	13,0	74,406	207,753	13,0	410,186	12,5	+5,320
24	13,0	74,406	198,851	13,0	392,712	12,5	+4,490
25	13,2	74,404	189,618	13,2	374,556	12,6	+4,680
26	13,3	74,413	182,661	13,3	360,898	12,6	+4,424
27	13,5	74,419	142,593	13,5	281,967	13,5	+3,219
28	13,6	74,408	122,348	13,6	241,938	13,6	+2,758
29	13,8	74,396	115,738	13,8	228,859	13,8	+2,617

La compressibilité du présent mélange est, pour toute la série des expériences, inférieure à celle du mélange précédent et plus voisine, par suite, de celle du gaz carbonique, tout en étant plus élevée que celle de ce dernier gaz.

Pour $P_0 = 647^{\text{cm}}$ environ, elle devient inférieure à celle du mélange à 47,54 de gaz carbonique, dont elle traverse la courbe (').

**XI. — RÉSUMÉ DES RÉSULTATS RELATIFS AUX MÉLANGES D'AIR SEC
ET DE GAZ CARBONIQUE.**

Dans les limites, précédemment indiquées, de mes expériences, la compressibilité des mélanges d'air sec et de gaz carbonique, lorsque la quantité de ce dernier gaz ne dépasse pas 22 pour 100 environ, est comprise entre celles de l'air et du gaz carbonique ; mais cette compressibilité, tout d'abord sensiblement linéaire et plus voisine de celle de l'air que de celle du gaz carbonique, se rapproche de celle-ci à mesure que la pression initiale relative au volume 1 augmente, de manière à devenir plus voisine de la compressibilité du gaz carbonique que de celle de l'air. Ce fait est établi par les expériences relatives aux mélanges à 11,00 et 19,35 pour 100 de gaz carbonique. La représentation graphique de ces expériences indique en outre, pour des pressions dépassant les limites de notre appareil, la tendance pour la compressibilité du mélange non seulement à se rapprocher de celle du gaz carbonique, mais encore à devenir plus grande que celle de ce gaz.

(¹) Nous donnons dans le Tableau suivant, à titre de renseignements, les résultats de l'étude du *gaz carbonique* seul, faite, comme contrôle, avec notre appareil. Les nombres obtenus sont mis en regard de ceux qui résultent des formules de Regnault.

N° d'ordre des expé- riences.	TEMPÉRA- TURE du gaz carbonique	PRESSION atmosphérique à 0° et niveau 0.	PRESSION initiale P_0 sous volume 1.	TEMPÉ- RATURE de la colonne de mercure	PRESSION FINALE P_1 sous volume $\frac{1}{2}$.		DIFFÉRENCES $P_1 \text{Reg.} - P_1 \text{exp.}$	TEMPÉRA- TURE de la colonne de mercure
					d'après Regnault.	trouvée expé- imentalement.		
1	20,3	75,069	761,579	20,8	1510,151	1510,503	-0,352	21,7
2	10,6	75,623	728,912	11,5	1445,375	1445,012	+0,363	10,7
3	12,7	75,824	571,960	13,2	1134,152	1133,996	+0,156	13,5
4	13,4	75,851	470,659	13,4	933,280	933,312	-0,032	13,3
5	20,3	75,158	435,134	21,0	862,836	862,789	+0,047	21,7
6	18,6	75,069	292,178	18,6	579,366	579,251	+0,115	19,5
7	19,5	75,098	284,584	19,5	564,307	564,412	-0,105	20,1
8	14,2	75,898	247,801	14,2	491,370	491,408	-0,038	14,0
9	12,3	75,870	206,371	12,3	409,217	409,278	-0,061	12,5
10	20,0	75,033	188,924	20,0	374,621	374,649	-0,028	20,7
11	12,2	75,880	156,307	12,2	309,944	309,867	+0,077	12,3
12	12,2	75,880	111,450	12,2	220,996	220,975	+0,021	12,2

Les expériences sur les mélanges plus riches en gaz carbonique établissent et précisent le fait : la compressibilité du mélange est d'abord, pour des pressions initiales faibles, ainsi que l'a constaté Regnault, intermédiaire entre celles de l'air et du gaz carbonique ; mais, la pression initiale, sous volume 1, croissant, cette compressibilité se rapproche de celle du gaz carbonique pour arriver à dépasser celle-ci, et le point, pour lequel ce passage a lieu, c'est-à-dire pour lequel la compressibilité du mélange est égale à celle du gaz carbonique, correspond à une pression initiale d'autant plus faible que la richesse du mélange en gaz carbonique est plus grande. C'est ainsi que, pour un mélange à 26,98 pour 100 de gaz carbonique, la pression initiale du volume 1, qui correspond au passage, est sensiblement 539^{cm},4 ; pour les mélanges suivants à 33,33, 40,08 et 42,70 de gaz carbonique, elle devient graduellement 459^{cm}, 253^{cm}, 174^{cm} environ.

La richesse du mélange en gaz carbonique continuant à croître, l'aspect des courbes représentatives du phénomène (*Pl. I*) montre que le point commun dont nous venons de parler continue à correspondre à une pression initiale de plus en plus faible. Dans la limite de mes expériences, la compressibilité des mélanges suivants est plus grande que celle du gaz carbonique, elle-même supérieure à celle de l'air et va en croissant avec la pression initiale.

Il est d'ailleurs évident que, la richesse en gaz carbonique augmentant, la compressibilité des mélanges successifs ne peut s'écartier indéfiniment de celle du gaz carbonique, mais doit, après s'en être écartée, s'en rapprocher de nouveau et tendre vers elle à mesure que le mélange tend lui-même vers le gaz carbonique pur. L'expérience confirme cette prévision, et la tendance de la compressibilité du mélange à se rapprocher de celle du gaz carbonique, après écart, résulte de l'étude de la compressibilité des trois mélanges à 47,54, 56,92 et 62,50 pour 100 de gaz carbonique. Le premier établit l'écart ; le second montre, par rapport au précédent, pour les pressions élevées, une diminution de cet écart affirmée et amplifiée par l'étude du dernier mélange dont la compressibilité est constamment inférieure à celle du mélange précédent et conséquemment plus voisine de celle du gaz carbonique.



CHAPITRE III.

MÉLANGES D'AIR ET D'HYDROGÈNE.

I. — PRÉPARATION DES MÉLANGES.

La compressibilité des mélanges d'air sec et d'hydrogène a été étudiée à l'aide de huit mélanges dans lesquels la proportion d'hydrogène est successivement de 9,55, 12,95, 16,31, 28,12, 33,08, 39,28, 49,89, 65,67 pour 100.

On a tout d'abord laissé échapper du récipient Golaz et envoyé à l'extérieur le dernier mélange étudié d'air et de gaz carbonique contenu sous pression dans ce récipient. Puis, pour balayer les traces de gaz carbonique, on envoyait dans le récipient de l'air sec sous pression de 3 atmosphères environ. Cet air traversait l'appareil dessiccateur décrit au début du Chapitre précédent, mais en avant duquel on avait ajouté, dans le cas actuel, une longue éprouvette à pied contenant des fragments de potasse destinés à dépouiller de son gaz carbonique l'air sec envoyé dans le récipient. Cette opération achevée, on laissait, comme dans les préliminaires de la préparation des mélanges d'air et de gaz carbonique, échapper l'air envoyé dans le récipient, et l'on renouvelait l'envoi, sous pression, d'air sec dépouillé de gaz carbonique, un nombre de fois suffisant pour que l'air finalement renfermé dans le récipient ne contienne plus de gaz carbonique, ce que l'on vérifiait en constatant la non-absorption d'une partie de ce gaz par la potasse. Cette condition étant enfin réalisée, on continuait l'envoi, dans le réservoir, d'air sec dépouillé de son gaz carbonique de manière à obtenir, sur le manomètre métallique de la pompe rotative, l'indication d'une pression de 10^{atm} à 12^{atm} dans ce récipient.

De l'hydrogène pur et sec était alors introduit dans la masse d'air sec dépouillé de gaz carbonique, obtenue précédemment. Cet hydrogène, à sa sortie des gazomètres, traversait, avant d'arriver à la pompe rotative, le système dessiccateur déjà décrit, augmenté ici du tube à potasse, et l'on avait soin, avant d'ouvrir le robinet déterminant l'admission du gaz dans le

récipient, d'en perdre plusieurs gazomètres, ainsi qu'il a été dit dans le cas du gaz carbonique, afin d'en remplir les appareils des gazomètres au récipient à mélanges.

Un premier mélange d'air et d'hydrogène était ainsi obtenu; on procérait le lendemain à son analyse et l'on commençait les expériences destinées à l'étude de sa compressibilité. Quand celles-ci étaient terminées, on enrichissait le mélange en hydrogène et l'on continuait, dans le même ordre, les préparations de mélange et les déterminations expérimentales. Néanmoins nous devons faire remarquer que l'étude des deux premiers mélanges à 9,55 et 12,95 pour 100 d'hydrogène est postérieure à celle des autres. Pour préparer le premier, nous avons dû, après départ d'une partie du dernier mélange étudié à 65,67 d'hydrogène, faire arriver dans le récipient en cuivre rouge de l'air sec dépouillé de gaz carbonique de manière à abaisser la teneur en hydrogène à 9,55 pour 100. Puis, ce mélange étant étudié, l'addition d'hydrogène nous a fourni le mélange à 12,95. Cette observation était nécessaire pour expliquer les variations dans le volume initial V_0 et les repères correspondants que l'on remarquera dans l'étude particulière des divers mélanges. Nous ajouterons encore que nous avons dû, avant de commencer l'étude des mélanges d'air et d'hydrogène, remplacer le tube-laboratoire en cristal qui, à la suite de sa remise en place après nettoyage, s'était, comme le premier, cassé spontanément. Le nouveau tube, en verre, de même diamètre intérieur, a servi jusqu'à la fin des expériences dont il est rendu compte dans le présent travail; on a seulement, dans le cours de l'étude du mélange à 65,67 d'hydrogène, pour plus de facilité dans les lectures, changé les volumes V_0 et $V_1 = \frac{V_0}{2}$ en prenant la division 17^{cm},o au lieu de 15^{cm},o pour origine de V_0 ; un nouveau jaugeage a été alors naturellement nécessaire.

L'hydrogène était préparé dans un appareil continu Sainte-Claire Deville par l'action de l'acide sulfurique pur, mais étendu, sur de la grenaille de zinc. Nous avions disposé dans le bouchon de l'appareil générateur, à côté du tube de dégagement ordinaire, à robinet, un second tube à robinet de verre qui nous permettait, après recharge de l'appareil, de laisser échapper l'air contenu et d'éviter ainsi son introduction dans les appareils suivants reliés au tube de dégagement normal. A sa sortie du système générateur, l'hydrogène produit passait dans les appareils purificateurs.

M. Eug. Schöbig a fait connaître (¹) une méthode aussi rapide que commode de purification de l'hydrogène pour les opérations analytiques par l'emploi d'une solution concentrée de permanganate de potassium, suivie de soude. Mais ce procédé, quand il s'agit, comme dans notre cas, d'opérer sur des volumes gazeux considérables peut devenir onéreux. C'est précisément afin d'éviter cet inconvénient que MM. Eug. Varenne et Em. Hebré (²) ont substitué au permanganate de potassium l'emploi du bichromate qui donne des résultats aussi satisfaisants. Ces chimistes ont, en effet, en faisant barboter un mélange d'hydrogène arsénier, sulfuré, antimonier, carburé, silicié, préparé préalablement dans des proportions qui ne se présentent jamais dans la pratique, constaté la purification parfaite de l'hydrogène après passage, sous une pression de 20^{cm} dans la dissolution suivante :

	gr
Bichromate de potassium.....	100
Eau.....	1000
Acide sulfurique concentré.....	30

et lavage consécutif à la potasse, destinée à l'absorption du gaz carbonique susceptible d'être, soit mélangé à l'hydrogène, soit produit par l'oxydation du carbone de l'hydrogène carboné. MM. Eug. Varenne et Em. Hebré ont encore constaté que, par passage dans le bichromate de potassium, le gaz d'éclairage s'y dépouillait de son carbone.

Pour ces diverses raisons, nous avons adopté le procédé si simple de MM. Eug. Varenne et Em. Hebré et notre hydrogène était purifié par passage dans deux grands flacons laveurs contenant la solution indiquée ci-dessus, de manière à faire traverser au gaz une épaisseur de plus de 40^{cm} de cette solution. Un troisième laveur contenait une dissolution concentrée de potasse, et l'hydrogène ainsi purifié était ensuite recueilli dans les gazo-mètres.

L'analyse d'un mélange s'effectuait sur la cuve à mercure et consistait dans la détermination de la proportion d'oxygène qu'il contenait; on en déduisait ensuite, sans difficulté, la quantité d'air correspondante et, par suite, la teneur du mélange en hydrogène. L'oxygène était absorbé, par la

(¹) *Journal für praktische Chemie*, nouv. série, t. XIV, p. 289, et *Bulletin de la Société chimique de Paris*, nouv. série, t. XXVIII, p. 354; 1877.

(²) *Bulletin de la Société chimique de Paris*, nouv. série, t. XXVIII, p. 523; 1877.

méthode de M. Schützenberger (¹), à l'aide d'hydrosulfite de sodium, toujours fraîchement préparé par l'action du bisulfite de sodium du commerce, étendu de son volume d'eau distillée, sur de la tournure de zinc. Cette préparation s'effectuait dans un petit flacon soigneusement bouché au moyen d'un bouchon de caoutchouc traversé en son milieu par un tube de verre plein et maintenu une demi-heure dans un courant d'eau froide afin d'éviter toute élévation de température pendant la réaction.

Nous compléterons ces renseignements généraux sur l'étude des mélanges d'air et d'hydrogène, en faisant observer que, par suite du peu d'amplitude des écarts obtenus expérimentalement, nous avons dû sur la *Pl. II* originale relative à ces mélanges, en conservant la même échelle pour les abscisses que dans les *Pl. I* et *III*, non seulement doubler celle des ordonnées, mais encore, dans un carton spécial, consigner les résultats relatifs aux faibles pressions. Sur ce carton les abscisses sont doublées, de sorte que 5^{cm} représentaient 50^{cm} au lieu de 100^{cm}; quant aux ordonnées, elles sont considérablement dilatées, car 1^{cm} se trouvait représenté par 5^{cm}.

II. — MÉLANGE A 9,55 POUR 100 D'HYDROGÈNE.

Dans l'étude de ce mélange, le volume initial V_0 valait 316^{cm³, 567 et était déterminé par la division 17^{cm}, 0, le volume final correspondait à la division 70^{cm}, 0. Le nombre d'expériences est de 32, et la pression initiale, sous volume V_0 , y varie entre les limites 121^{cm}, 890 et 784^{cm}, 765.}

(¹) *Bulletin de la Société chimique de Paris*, t. XII, p. 121; t. XIX, p. 152; t. XX, p. 147.

N ^o s d'ordre des expé- riences.	TEMPÉRA- TURE du mélange gazeux.	PRESSION atmosphérique à 0° et niveau 0.	PRESSION initiale P_0 sous volume 1.	TEMPÉRA- TURE de la colonne de mercure	PRESSION finale P_1 sous volume $\frac{1}{2}$.	TEMPÉRA- TURE de la colonne de mercure	DIFFÉRENCES $2P_0 - P_1$.
1	9,2	75,224	784,765	9,3	1574,385	8,2	- 4,855
2	9,2	75,214	734,883	9,3	1473,936	8,1	- 4,170
3	9,3	75,213	697,316	9,3	1398,197	8,3	- 3,565
4	9,5	75,221	671,930	9,5	1347,074	8,3	- 3,214
5	9,5	75,221	632,154	9,7	1266,989	9,2	- 2,681
6	9,6	75,220	613,963	9,8	1230,377	9,4	- 2,451
7	9,6	75,220	587,177	9,8	1176,508	9,3	- 2,154
8	9,7	75,228	556,253	9,8	1114,405	9,3	- 1,899
9	9,8	75,227	525,171	9,8	1052,001	9,3	- 1,659
10	9,7	75,218	502,503	9,7	1006,497	9,2	- 1,491
11	9,8	75,217	474,837	9,7	950,962	9,2	- 1,288
12	9,9	75,215	452,334	9,8	905,771	9,3	- 1,103
13	10,0	75,214	424,810	9,9	850,581	9,4	- 0,961
14	10,1	75,213	386,964	10,0	774,733	10,0	- 0,795
15	10,1	75,213	364,274	10,0	729,239	10,0	- 0,691
16	12,4	74,036	355,974	13,0	712,576	13,0	- 0,628
17	12,5	74,035	311,787	12,5	623,984	12,9	- 0,410
18	12,6	74,014	293,978	12,6	588,334	12,9	- 0,378
19	12,8	74,001	277,628	12,8	555,535	13,1	- 0,279
20	12,9	74,000	263,204	12,9	526,610	13,3	- 0,202
21	13,0	73,980	249,207	13,0	498,588	13,3	- 0,174
22	13,0	73,980	235,397	13,0	470,900	13,3	- 0,106
23	13,1	73,969	223,862	13,1	447,790	13,4	- 0,066
24	13,3	73,966	211,850	13,3	423,720	13,5	- 0,010
25	10,9	74,105	194,222	10,9	388,429	11,7	+ 0,015
26	11,0	74,104	189,939	11,0	379,851	11,8	+ 0,027
27	11,1	74,103	181,824	11,1	363,597	11,9	+ 0,051
28	11,4	74,099	166,951	11,4	333,819	12,1	+ 0,083
29	11,8	74,094	160,152	11,8	320,212	12,3	+ 0,092
30	8,5	75,025	152,601	8,5	305,106	9,3	+ 0,096
31	9,0	75,019	125,779	9,0	251,453	9,0	+ 0,105
32	9,2	75,017	121,890	9,2	243,678	9,2	+ 0,102

Le Tableau et la représentation graphique des résultats nous montrent que la compressibilité du mélange est intermédiaire entre celles de l'air et de l'hydrogène pour des pressions initiales faibles, inférieures à 294^{cm} de mercure environ. Nous pouvons même constater que cette compressibilité est d'abord de même sens que celle de l'air et comprise entre celle-ci et la loi de Mariotte pour des valeurs de P_0 moindres que 205^{cm} approximativement

(expériences 32 à 25); puis, P_0 croissant de 205^{cm} à 294^{cm}, elle change de signe et est comprise entre la loi de Mariotte et la compressibilité de l'hydrogène (expériences 24 à 18). Lorsque la pression initiale P_0 , dépassant 294^{cm}, croît d'une manière continue, la compressibilité du mélange diminue progressivement en conservant, par rapport à la loi de Mariotte, un écart toujours de même sens, plus grand pour le mélange que pour l'hydrogène, et augmentant en même temps que la pression initiale. Pour P_0 supérieur à 294^{cm} de mercure, la compressibilité du mélange est donc constamment moindre que celle de l'hydrogène.

III. — MÉLANGE A 12,95 POUR 100 D'HYDROGÈNE.

Les repères et la valeur de V_0 sont ici les mêmes que pour le mélange précédent; mais, dans les 31 expériences de la série actuelle, la valeur de P_0 varie de 122^{cm}, 428 à 661^{cm}, 759.

La loi de compressibilité du mélange actuel à 12,95 pour 100 d'hydrogène est absolument la même que celle du mélange précédent, mais ici la compressibilité est constamment moindre que celle du mélange à 9,55.

Cette compressibilité, d'abord intermédiaire entre celle de l'air et la loi de Mariotte (expériences 31 à 26) pour P_0 inférieur à 170^{cm}, est ensuite, P_0 croissant jusqu'à 258^{cm} environ (expériences 25 à 17) comprise entre la loi de Mariotte et la compressibilité de l'hydrogène; puis elle devient plus petite que cette dernière, et s'en écarte constamment dans le même sens à mesure que P_0 augmente, l'écart étant maintenant toujours plus grand pour le mélange étudié à 12,95 que pour celui à 9,55.

N ^o d'ordre des expé- riences.	TEMPÉRA- TURE du mélange gazeux.	PRESSION atmosphérique à 0° et niveau 0.	PRESSION initiale P_0 sous volume 1.	TEMPÉRA- TURE de la colonne de mercure	PRESSION finale P_1 sous volume $\frac{1}{2}$.	TEMPÉRA- TURE de la colonne de mercure	DIFFÉRENCES $2P_0 - P_1$
1	10,3	76,483	661,759	13,6	1326,977	12,7	- 3,459
2	10,4	76,492	645,164	13,6	1293,544	13,2	- 3,216
3	10,5	76,491	601,628	13,6	1205,843	13,3	- 2,587
4	10,6	76,480	566,551	13,6	1135,300	13,4	- 2,198
5	10,7	76,478	530,877	13,8	1063,655	13,9	- 1,901
6	10,7	76,478	498,445	13,7	998,522	13,6	- 1,632
7	10,9	76,466	467,927	13,9	937,353	13,6	- 1,499
8	11,2	76,453	450,564	14,0	902,385	13,7	- 1,257
9	11,3	76,442	435,465	14,0	872,096	13,7	- 1,166
10	10,4	76,422	408,898	11,4	818,805	11,6	- 1,009
11	10,5	76,421	384,693	11,5	770,260	11,5	- 0,874
12	10,6	76,420	365,643	11,6	732,069	11,5	- 0,783
13	11,0	76,405	316,211	11,0	632,963	11,9	- 0,541
14	11,1	76,404	296,902	11,1	594,285	12,1	- 0,481
15	11,2	76,403	282,343	11,2	565,085	12,1	- 0,399
16	11,3	76,402	267,776	11,3	535,894	12,2	- 0,342
17	11,4	76,400	253,735	11,4	507,802	12,2	- 0,272
18	10,5	75,832	240,238	10,5	480,686	12,6	- 0,210
19	10,7	75,810	227,176	10,7	454,511	12,8	- 0,159
20	10,9	75,807	216,751	10,9	433,620	12,8	- 0,118
21	11,2	75,794	205,830	11,2	411,738	12,9	- 0,078
22	11,5	75,780	196,613	11,5	393,275	13,0	- 0,049
23	11,7	75,759	187,846	11,7	375,730	13,1	- 0,038
24	11,8	75,748	179,679	11,8	359,370	13,1	- 0,012
25	12,0	75,745	170,940	12,0	341,883	13,3	- 0,003
26	11,9	75,726	158,538	11,9	317,058	13,1	+ 0,018
27	12,2	75,248	154,823	12,2	309,621	13,3	+ 0,025
28	12,5	75,234	149,048	12,5	298,059	13,6	+ 0,037
29	12,3	75,236	137,215	12,3	274,389	12,3	+ 0,041
30	12,6	75,213	132,569	12,6	265,099	12,6	+ 0,039
31	12,7	75,202	122,428	12,7	244,818	12,7	+ 0,038

IV. — MÉLANGE A 16,31 POUR 100 D'HYDROGÈNE.

Les divisions servant de repères sont ici de 15^{cm}, 0 pour le volume initial valant 322^{cm³}, 540, et 69^{cm}, 0 pour le volume final. Le Tableau des résultats comprend 30 expériences, et la pression initiale sous volume 1 y varie de 108^{cm}, 481 à 765^{cm}, 543.

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES SUR L'ÉLASTICITÉ DES MÉLANGES GAZEUX. G.59

N ^o d'ordre des expé- riences.	TEMPÉRA- TURE du mélange gazeux.	PRESSION atmosphérique à 0° et niveau 0.	PRESSION initiale P ₀ sous volume 1.	TEMPÉRA- TURE de la colonne de mercure	PRESSION finale P ₁ sous volume $\frac{1}{2}$.	TEMPÉRA- TURE de la colonne de mercure	DIFFÉRENCES $2P_0 - P_1$
1	9,9	74,466	765,543	9,9	1537,228	8,7	- 6,142.
2	10,0	74,491	721,095	9,9	1447,388	8,4	- 5,198
3	10,5	74,861	710,854	10,0	1426,724	11,8	- 5,016
4	10,0	74,501	682,000	9,9	1368,547	8,6	- 4,547
5	10,6	74,871	670,072	10,9	1344,504	11,8	- 4,360
6	10,2	74,506	647,789	10,0	1299,579	9,2	- 4,001
7	10,6	74,871	627,979	10,9	1259,692	11,7	- 3,734
8	10,6	74,871	591,956	10,9	1187,193	11,6	- 3,281
9	10,4	74,699	579,519	10,5	1162,168	10,5	- 3,130
10	10,7	74,851	557,201	11,0	1117,301	8,4	- 2,899
11	10,8	74,841	526,388	11,0	1055,411	8,4	- 2,635
12	9,4	74,687	479,234	9,7	960,647	10,1	- 2,179
13	8,1	74,544	433,723	8,5	869,132	8,4	- 1,686
14	8,0	74,555	412,614	8,4	826,693	8,4	- 1,465
15	7,9	74,545	410,683	8,4	822,815	8,2	- 1,449
16	8,0	74,563	369,051	8,4	739,264	8,4	- 1,162
17	8,2	74,562	349,972	8,5	700,978	8,5	- 1,034
18	8,2	74,562	310,504	8,2	621,808	8,5	- 0,800
19	8,4	74,570	294,052	8,4	588,852	8,7	- 0,748
20	8,6	74,569	263,767	8,6	528,174	8,8	- 0,640
21	8,6	74,560	250,532	8,6	501,665	8,9	- 0,601
22	8,6	74,560	232,040	8,6	464,616	8,9	- 0,536
23	8,7	74,550	215,590	8,7	431,488	8,9	- 0,470
24	8,2	74,364	200,507	8,2	401,429	8,3	- 0,415
25	8,6	74,352	178,930	8,6	358,179	8,6	- 0,319
26	8,7	74,369	164,845	8,7	329,950	8,8	- 0,260
27	8,6	74,379	158,446	8,6	317,127	8,8	- 0,235
28	8,6	74,379	136,523	8,6	273,187	8,7	- 0,141
29	8,7	74,388	116,541	8,7	233,194	8,7	- 0,112
30	10,0	74,411	108,481	10,0	217,070	10,0	- 0,108

Dans les limites de nos expériences, la compressibilité du mélange commence toujours, comme pour les précédents, à être intermédiaire entre celles de l'air et de l'hydrogène; mais, ici, cette compressibilité s'écarte toujours de la loi de Mariotte dans le même sens que celle de l'hydrogène. La pression initiale augmentant au delà de 136^{cm} de mercure, la compressibilité du mélange devient plus petite que celle de l'hydrogène, et présente, relativement à la loi de Mariotte, un écart croissant, toujours plus grand que celui du mélange précédent. Nous constatons ainsi, pour les mé-

langes, un écartement progressif, mais néanmoins lent, de la compressibilité relativement à celle de l'hydrogène à mesure que la quantité de ce dernier gaz augmente.

V. — MÉLANGE A 28,12 POUR 100 D'HYDROGÈNE.

Les 30 expériences de cette série ont été faites dans les mêmes conditions expérimentales que celles de la série précédente; on a donc encore ici V_0 égal à $322\text{cm}^3,540$. La pression relative à ce volume initial pris pour unité a varié de $105\text{cm},190$ à $758\text{cm},013$.

La compressibilité de ce mélange est encore d'abord intermédiaire entre celles de l'air et de l'hydrogène, mais comprise, dans les limites indiquées ci-dessus, entre la loi de Mariotte et la compressibilité de l'hydrogène; puis, la pression initiale dépassant 144cm , nous retrouvons le fait déjà signalé : écart relatif à la loi de Mariotte, de même sens, mais plus grand que pour l'hydrogène, et croissant avec la pression initiale, en étant plus grand, dans cette région, pour une valeur quelconque de P_0 que celui du mélange précédent, de sorte que la compressibilité du mélange, s'enrichissant en hydrogène, continue à s'écartier de celle de l'hydrogène pour les moyennes et fortes pressions initiales.

Cette tendance ne se constate pas aux pressions initiales faibles; car, pour les valeurs de P_0 moindres que 167cm , la compressibilité du mélange actuel est plus grande que celle du précédent à $16,41$ d'hydrogène, pour devenir ensuite constamment plus petite.

N° d'ordre des expé- riences.	TEMPÉRA- TURE du mélange gazeux.	P <small>RESSION</small> atmosphérique à 0° et niveau 0.	P <small>RESSION</small> initial P _o sous volume 1.	TEMPÉRA- TURE de la colonne de mercure	P <small>RESSION</small> finale P ₁ sous volume $\frac{1}{2}$.	TEMPÉRA- TURE de la colonne de mercure	DIFFÉRENCES $2P_o - P_1$
1	9,0	74,617	758,013	9,5	1524,540	8,4	- 8,514
2	9,3	74,510	733,846	9,7	1475,704	9,8	- 8,012
3	8,7	74,744	723,407	9,1	1454,605	7,8	- 7,791
4	8,7	74,734	715,079	9,1	1437,791	7,8	- 7,633
5	8,7	74,752	682,572	9,1	1372,063	7,4	- 6,919
6	9,0	74,635	652,992	9,4	1312,327	8,1	- 6,343
7	8,8	74,782	623,231	9,1	1252,200	8,6	- 5,738
8	8,8	74,792	605,351	9,1	1216,081	8,5	- 5,379
9	9,4	74,518	574,835	9,7	1154,559	9,5	- 4,889
10	8,8	74,820	557,119	9,0	1118,801	8,6	- 4,563
11	8,8	74,829	528,297	9,1	1060,672	8,5	- 4,078
12	9,4	74,527	504,288	9,8	1012,257	9,7	- 3,681
13	9,0	74,809	478,242	9,2	959,779	8,6	- 3,295
14	9,2	74,807	449,916	9,3	902,683	8,7	- 2,851
15	9,4	74,527	431,990	9,7	866,592	9,8	- 2,612
16	9,1	74,788	411,880	9,2	826,122	8,6	- 2,362
17	9,1	74,770	351,989	9,2	705,582	9,2	- 1,604
18	9,2	74,760	311,268	9,2	623,836	9,3	- 1,300
19	8,2	74,434	277,510	8,7	556,636	9,3	- 1,016
20	8,9	74,426	263,427	8,9	527,775	9,4	- 0,921
21	9,0	74,435	256,337	9,0	513,558	9,5	- 0,884
22	9,3	74,500	236,627	9,3	473,979	9,7	- 0,725
23	9,4	74,519	225,236	9,4	451,117	9,8	- 0,645
24	9,5	74,527	214,099	9,5	428,798	9,9	- 0,600
25	9,6	74,526	181,939	9,6	364,263	9,8	- 0,385
26	9,5	74,575	171,696	9,5	343,682	9,9	- 0,290
27	9,7	74,593	160,888	9,7	322,011	10,0	- 0,235
28	9,9	74,700	132,509	9,9	265,138	9,9	- 0,120
29	10,2	74,696	121,243	10,2	242,586	10,2	- 0,100
30	10,2	74,696	105,190	10,2	210,467	10,2	- 0,087

VI. — MÉLANGE A 33,08 POUR 100 D'HYDROGÈNE.

L'étude de ce mélange est faite à l'aide de 31 expériences dans les mêmes conditions expérimentales que celles des deux mélanges précédents, conditions qui se sont maintenues encore pour les deux mélanges suivants à 39,28 et 49,89 pour 100 d'hydrogène. La compressibilité du présent mélange donne une courbe sensiblement parallèle à celle du mélange précédent

à 28,12, mais placée un peu plus bas, les valeurs négatives de $2P_0 - P_i$ étant ici plus grandes en valeurs absolues. Cette compressibilité, comprise entre celle de l'hydrogène et la loi de Mariotte jusqu'à une valeur de P_0 voisine de 130^{cm}, est ensuite plus petite que celle de l'hydrogène, l'écart augmentant avec P_0 .

N ^o d'ordre des expé- riences.	TEMPÉRA- TURE du mélange gazeux.	PRESSEION atmosphérique à 0° et niveau 0.	PRESSEION initiale P_0 sous volume 1.	TEMPÉRA- TURE de la colonne demercure	PRESSEION finale P_i sous volume $\frac{1}{2}$.	TEMPÉRA- TURE de la colonne demercure	DIFFÉRENCES $2P_0 - P_i$
1	8,4	75,125	810,797	8,4	1631,405	7,2	- 9,811
2	9,6	75,506	789,219	9,3	1587,816	8,3	- 9,378
3	8,5	75,124	777,737	8,4	1564,602	7,1	- 9,128
4	8,4	75,125	733,354	8,3	1474,964	7,0	- 8,256
5	9,8	75,514	714,540	9,5	1436,898	8,6	- 7,818
6	9,9	75,522	703,563	9,5	1414,668	8,5	- 7,542
7	9,2	75,333	658,854	9,1	1324,342	8,3	- 6,634
8	8,5	75,125	645,049	8,4	1296,457	7,9	- 6,359
9	8,5	75,125	607,629	8,4	1220,875	7,8	- 5,617
10	9,2	75,338	591,851	9,1	1189,074	8,5	- 5,372
11	9,2	75,338	547,414	9,1	1099,419	8,5	- 4,591
12	9,9	75,552	536,758	9,7	1077,919	9,2	- 4,403
13	9,4	75,336	519,040	9,1	1042,196	8,5	- 4,116
14	10,0	75,551	506,584	9,8	1017,066	9,3	- 3,898
15	8,6	75,225	464,212	8,4	931,627	7,9	- 3,203
16	10,3	75,577	446,261	10,0	885,422	9,4	- 2,900
17	10,4	75,566	419,711	10,1	841,961	9,4	- 2,539
18	10,4	75,559	358,828	10,1	719,476	10,1	- 1,820
19	10,3	75,533	322,413	10,3	646,264	10,0	- 1,438
20	9,5	75,293	287,412	9,5	576,004	9,6	- 1,180
21	8,6	75,053	270,709	8,6	542,501	9,3	- 1,083
22	8,4	75,104	243,419	8,4	487,718	8,8	- 0,880
23	8,3	75,123	230,917	8,3	462,613	8,7	- 0,779
24	8,4	75,122	219,384	8,4	439,461	8,8	- 0,693
25	8,6	75,129	195,597	8,6	391,717	8,9	- 0,523
26	8,7	75,120	191,337	8,7	383,157	9,0	- 0,481
27	8,7	75,120	183,189	8,7	366,798	9,0	- 0,420
28	9,0	75,108	160,786	9,0	321,840	9,0	- 0,268
29	9,1	75,117	153,864	9,1	307,948	9,1	- 0,220
30	9,1	75,117	120,965	9,1	242,055	9,1	- 0,125
31	8,5	75,074	111,003	8,5	222,124	8,5	- 0,118

VII. — MÉLANGE A 39,28 POUR 100 D'HYDROGÈNE.

Le Tableau suivant donne les résultats des expériences concernant ce mélange.

N° d'ordre des expé- riences.	TEMPÉRA- TURE du mélange gazeux.	PRESSION atmosphérique à 0° et niveau 0.	PRESSION initiale P_0 sous volume 1.	TEMPÉRA- TURE de la colonne demercure	PRESSION finale P_1 sous volume $\frac{1}{2}$.	TEMPÉRA- TURE de la colonne demercure	DIFFÉRENCES $2P_0 - P_1$
1	6,9	75,272	815,751	7,0	1642,459	6,3	-10,957
2	6,9	75,281	777,246	6,8	1564,525	4,9	-10,033
3	6,9	75,272	741,783	7,0	1492,767	5,2	-9,201
4	7,4	74,849	714,102	6,2	1436,662	5,2	-8,458
5	7,0	75,299	708,413	6,9	1425,146	4,7	-8,320
6	7,0	75,271	670,132	7,1	1347,707	4,8	-7,443
7	7,4	74,849	663,146	6,2	1333,573	4,6	-7,281
8	7,5	74,839	624,674	6,3	1255,748	5,2	-6,400
9	7,0	75,290	607,713	7,1	1221,411	6,3	-5,985
10	7,1	75,299	581,708	7,2	1168,847	6,3	-5,431
11	7,2	75,298	551,318	7,3	1107,432	6,7	-4,796
12	7,6	74,847	501,860	6,4	1007,640	5,4	-3,920
13	7,3	75,279	477,765	7,2	959,068	6,7	-3,538
14	7,3	75,288	468,007	7,2	939,430	6,8	-3,416
15	7,4	75,297	438,953	7,3	880,854	6,9	-2,948
16	7,7	74,837	428,461	6,4	859,724	5,3	-2,802
17	7,4	75,297	413,395	7,3	829,398	7,0	-2,608
18	7,4	75,297	388,016	7,3	778,330	7,3	-2,298
19	6,1	75,104	324,956	6,1	651,513	5,7	-1,601
20	6,2	75,112	306,132	6,2	613,667	5,7	-1,403
21	6,3	75,111	291,954	6,3	585,209	5,8	-1,301
22	6,3	75,131	276,024	6,3	553,246	5,8	-1,198
23	6,1	75,151	262,212	6,1	525,519	5,8	-1,095
24	6,2	75,150	248,628	6,2	498,244	5,9	-0,988
25	6,4	75,139	223,662	6,4	448,082	6,0	-0,758
26	6,5	75,138	212,711	6,5	426,097	6,1	-0,675
27	6,7	75,146	193,973	6,7	388,456	6,2	-0,510
28	6,7	75,137	185,305	6,7	371,060	6,2	-0,450
29	6,7	75,128	162,862	6,7	325,986	6,2	-0,262
30	6,7	74,848	155,679	6,7	311,587	6,4	-0,229
31	7,1	74,843	127,173	7,1	254,476	7,1	-0,130
32	7,5	74,839	105,427	7,5	210,958	7,5	-0,104

Nous constatons, en premier lieu, les mêmes faits généraux que précédemment : compressibilité comprise, au début, entre celles de la loi de

Mariotte et de l'hydrogène et devenant, dès que la pression initiale P_0 a acquis en croissant une certaine valeur, ici sensiblement 135cm , plus petite que celle de l'hydrogène, l'écart croissant avec P_0 .

Mais l'écart progressif, par rapport à la compressibilité de l'hydrogène de celles des mélanges s'enrichissant en ce gaz, ne semble plus, dès maintenant, vouloir persister. La compressibilité du mélange actuel se rapproche, en effet, de celle de l'hydrogène pour les pressions faibles, inférieures à 180cm de mercure environ, car, pour ces pressions, elle est constamment plus grande que celle du mélange précédent à $33,08$ pour 100 .

VIII. — MÉLANGE A $49,89$ POUR 100 D'HYDROGÈNE.

La tendance au retour, signalée à propos du mélange à $39,28$ pour les pressions faibles, s'affirme ici avec netteté. La comparaison de la série actuelle à la précédente montre, par suite de l'augmentation d'hydrogène, un rapprochement général de la compressibilité du mélange de celle de l'hydrogène. Pour toutes nos expériences, la courbe à $49,89$ est constamment au-dessus de celle à $39,28$ (*Pl. II*), étant fournie par des valeurs négatives de $2P_0 - P_1$ plus petites en valeurs absolues.

Tant que P_0 n'atteint pas 156cm de mercure environ, la compressibilité est encore ici intermédiaire entre celles de la loi de Mariotte et de l'hydrogène; puis elle va toujours en s'écartant de celle de l'hydrogène dans le même sens par rapport à la loi de Mariotte, et l'écart augmente avec la pression initiale. Seulement cet écart, moindre que celui du mélange précédent à $39,28$ pour toutes les expériences de la série, est au-dessous de $P_0 = 698\text{cm}$ environ, également moindre que celui du mélange à $33,08$ et au-dessous de $P_0 = 649$, moindre que celui du mélange à $28,12$; il est alors compris entre cet écart et celui relatif au mélange à $16,31$ pour devenir encore inférieur à ce dernier lorsque P_0 est moindre que 205cm .

Le retour, après écart, vers la compressibilité de l'hydrogène est donc ici évident.

N° d'ordre des expé- riences.	TEMPÉRA- TURE du mélange gazeux.	PRESSION atmosphérique à 0° et niveau 0.	PRESSION initiale P_0 sous volume 1.	TEMPÉRA- TURE de la colonne de mercure	PRESSION finale P_1 sous volume $\frac{1}{2}$.	TEMPÉRA- TURE de la colonne de mercure	DIFFÉRENCES $2P_0 - P_1$
1	9,8	75,405	806,641	9,6	1623,412	9,2	- 10,130
2	5,9	74,967	788,971	6,4	1587,567	5,6	- 9,625
3	10,0	75,412	758,649	9,7	1526,233	9,2	- 8,935
4	6,1	74,965	739,599	6,5	1487,680	5,2	- 8,482
5	10,2	75,401	715,442	9,6	1438,736	9,2	- 7,852
6	6,2	74,964	689,121	6,6	1385,460	5,1	- 7,218
7	10,2	75,410	669,203	9,3	1345,164	9,3	- 6,758
8	6,3	74,954	634,790	6,7	1275,492	6,4	- 5,912
9	6,3	74,954	599,077	6,8	1203,364	6,4	- 5,200
10	6,2	74,955	575,000	6,7	1154,763	6,1	- 4,763
11	10,4	75,417	557,573	9,9	1119,566	9,6	- 4,420
12	6,3	74,945	544,305	6,8	1092,900	6,2	- 4,290
13	9,8	75,861	487,572	9,8	978,400	9,7	- 3,256
14	6,4	74,931	485,313	6,8	973,826	6,2	- 3,200
15	10,0	75,859	457,509	9,7	917,830	9,5	- 2,812
16	10,1	75,868	429,465	9,7	861,340	9,4	- 2,410
17	6,3	74,904	391,258	6,8	784,460	6,8	- 1,944
18	10,1	75,877	367,665	9,7	736,990	9,7	- 1,660
19	10,3	75,885	322,973	10,3	647,184	9,9	- 1,238
20	10,4	75,884	303,985	10,4	609,045	9,9	- 1,075
21	10,5	75,883	287,420	10,5	575,794	10,1	- 0,954
22	9,5	75,242	256,139	9,5	513,026	9,5	- 0,748
23	9,5	75,251	229,401	9,5	459,382	9,5	- 0,580
24	9,5	75,260	217,668	9,5	435,840	9,5	- 0,504
25	9,7	75,231	197,858	9,7	396,098	9,6	- 0,382
26	5,9	74,958	186,020	5,9	372,359	6,3	- 0,319
27	6,0	74,956	163,350	6,0	326,902	6,0	- 0,202
28	6,1	74,955	152,768	6,1	305,681	6,1	- 0,145
29	5,8	74,959	131,638	5,8	263,360	5,8	- 0,084
30	5,9	74,958	127,051	5,9	254,172	5,9	- 0,070
31	6,5	74,960	110,236	6,5	220,534	6,5	- 0,062

IX. — MÉLANGE A 65,67 POUR 100 D'HYDROGÈNE.

Les conclusions tirées de l'étude du mélange précédent, moins riche en hydrogène, sont confirmées par le mélange actuel.

N° d'ordre des expé- riences.	TEMPÉRA- TURE du mélange gazeux.	PRESSION atmosphérique à 0° et niveau 0.	PRESSION initiale P_0 sous volume 1.	TEMPÉRA- TURE de la colonne de mercure	PRESSION finale P_1 sous volume $\frac{1}{2}$.	TEMPÉRA- TURE de la colonne de mercure	DIFFÉRENCES $2P_0 - P_1$.
1	9,1	76,619	773,546	10,0	1555,535	9,0	- 8,443
2	9,1	76,619	699,267	9,8	1405,537	10,4	- 7,003
3	9,1	76,609	595,881	12,2	1196,722	12,5	- 4,960
4	9,2	76,608	526,975	11,6	1057,635	11,8	- 3,685
5	9,6	76,604	483,943	11,1	970,892	11,3	- 3,006
6	9,7	76,602	455,117	11,2	912,851	11,5	- 2,617
7	9,8	76,591	423,973	11,3	850,089	11,4	- 2,143
8	10,3	76,693	395,047	12,5	791,894	13,3	- 1,800
9	10,0	76,577	388,954	11,4	779,703	11,4	- 1,791
10	9,6	76,334	369,254	10,5	740,013	10,5	- 1,505
11	10,4	76,702	360,312	13,4	722,026	13,2	- 1,402
12	9,7	76,323	349,142	10,6	699,594	10,7	- 1,310
13	9,8	76,321	317,319	9,8	635,661	10,7	- 1,023
14	9,9	76,309	300,904	9,9	602,700	10,8	- 0,892
15	9,9	76,319	294,107	9,9	589,017	10,8	- 0,803
16	9,9	76,319	277,931	9,9	556,570	10,8	- 0,708
17	11,0	76,685	269,459	11,0	539,615	12,7	- 0,697
18	9,9	76,349	262,934	9,9	526,498	10,8	- 0,630
19	9,7	76,502	249,467	9,7	499,482	11,2	- 0,548
20	9,5	76,505	236,377	9,5	473,249	11,0	- 0,495
21	9,6	76,503	224,709	9,6	449,839	11,0	- 0,421
22	9,7	76,502	213,773	9,7	427,851	11,0	- 0,305
23	10,2	76,545	204,660	10,2	409,565	11,3	- 0,245
24	10,8	76,547	195,315	10,2	390,835	11,3	- 0,205
25	8,9	76,520	185,420	8,9	371,020	9,5	- 0,180
26	8,8	76,522	178,226	8,8	356,616	9,5	- 0,164
27	8,8	76,522	169,678	8,8	339,504	9,4	- 0,148
28	9,2	76,507	156,318	9,2	312,757	9,7	- 0,121
29	9,2	76,507	150,706	9,2	301,530	9,7	- 0,118
30	9,1	76,508	122,873	9,1	245,837	9,1	- 0,091
31	9,2	76,507	118,505	9,2	237,097	9,2	- 0,087
32	9,3	76,506	110,408	9,3	220,894	9,3	- 0,078

La compressibilité de ce mélange est encore plus voisine de celle de l'hydrogène que celle du mélange précédent à 49,89. On constate, en effet, que cette compressibilité (*Pl. II*) pour $P_0 < 138^{\text{cm}}$ environ, est intermédiaire entre celles du mélange précédent et de l'hydrogène et, par suite, comprise entre la loi de Mariotte et la droite relative à l'hydrogène; elle garde des valeurs intermédiaires entre la compressibilité de l'hydrogène et

la loi de Mariotte jusqu'à une valeur de P_0 sensiblement égale à 194^{cm}. Puis, pour les valeurs plus grandes et croissantes de P_0 , elle est moindre que la compressibilité de l'hydrogène et l'écart, par rapport à la loi de Mariotte, augmente avec P_0 ; mais cette compressibilité est toujours plus voisine de celle de l'hydrogène que la compressibilité du mélange précédent : P_0 variant de 194 à 272, elle est intermédiaire entre les compressibilités de l'hydrogène et du mélange à 16,31, et, pour les valeurs suivantes de P_0 , comprise entre celles des mélanges à 16,31 et 28,32 pour 100 d'hydrogène (¹).

L'étude de ce dernier mélange complète donc celle du précédent et conduit à la même conclusion : tendance vers la compressibilité de l'hydrogène (²).

(¹) Durant l'étude du mélange considéré, le repère du volume V_0 a été, pour faciliter les lectures, élevé de la division 15^{cm},0 à 17^{cm},0, ce qui a également élevé de 69^{cm},0 à 70^{cm},0 l'origine du volume $V_1 = \frac{V_0}{2}$; le volume initial 322^{cc},540 est devenu par ce fait 316^{cc},567. Les expériences 8, 11 et 17 de la série correspondent à la première valeur et les autres à la seconde.

(²) Les résultats relatifs à l'étude de l'*hydrogène* pur à l'aide de notre appareil sont consignés dans le Tableau suivant qui donne également les nombres déduits des formules de Regnault.

N ^o d'ordre des expé- riences.	TEMPÉRA- TURE de l'hydro- gène.	PRESSION atmosphérique à 0° et niveau 0.	PRESSION initiale P_0 sous volume 1.	TEMPÉRA- TURE de la colonne de mercure	PRESSION FINALE P_1 SOUS VOLUME $\frac{1}{2}$		DIFFÉRENCES $P_1\text{Reg.} - P_1\text{exp.}$	TEMPERA- TURE de la colonne de mercure
					d'après Regnault.	trouvée expé- imentalement.		
1	6,9	74,745	685,035	5,9	1370,830	1371,325	-0,495	4,5
2	7,4	74,749	637,220	6,4	1275,145	1275,495	-0,350	5,5
3	7,5	74,819	593,430	6,5	1187,519	1187,209	+0,310	5,5
4	7,5	74,838	553,325	6,5	1111,267	1111,049	+0,218	5,5
5	7,5	74,847	517,145	6,6	1034,864	1035,076	-0,212	5,5
6	7,5	74,847	498,722	6,6	997,998	997,784	+0,214	5,5
7	7,5	74,838	468,248	6,6	937,016	936,811	+0,205	5,6
8	7,8	74,814	444,692	6,8	889,878	889,680	+0,198	5,8
9	7,8	74,805	420,716	6,8	841,899	842,100	-0,201	5,8
10	7,8	74,795	381,848	6,9	764,120	764,301	-0,181	6,9
11	8,0	74,792	365,948	7,0	732,302	732,452	-0,150	7,0
12	8,1	74,781	313,675	8,1	627,698	627,572	+0,126	7,1
13	8,0	74,763	298,058	8,0	596,447	596,339	+0,108	7,1
14	7,9	74,744	281,587	7,9	563,486	563,390	-0,104	7,1
15	7,9	74,748	268,150	7,9	536,597	536,498	+0,099	7,2
16	8,0	74,755	253,953	8,0	508,188	508,278	-0,090	7,2
17	8,1	74,763	241,987	8,1	484,242	484,320	-0,078	7,3
18	8,2	74,750	231,023	8,2	462,306	462,241	+0,065	7,3
19	8,3	74,741	220,019	8,3	440,282	440,332	-0,050	7,4
20	8,4	74,731	209,330	8,4	418,910	418,863	+0,047	7,6
21	8,6	74,730	199,603	8,6	399,427	399,386	+0,041	7,7
22	8,7	74,732	190,446	8,7	381,103	381,070	+0,033	8,7
23	8,9	74,730	182,744	8,9	365,691	365,713	-0,022	8,2
24	9,1	74,728	160,193	9,1	320,564	320,549	+0,015	8,4
25	9,2	74,726	154,150	9,2	308,471	308,483	-0,012	8,4
26	9,3	74,733	125,031	9,3	250,200	250,193	+0,007	9,3
27	9,5	74,731	121,014	9,5	242,162	242,170	-0,008	9,5
28	9,6	74,730	116,988	9,6	234,106	234,104	+0,002	9,6

X. — RÉSUMÉ DES RÉSULTATS RELATIFS AUX MÉLANGES D'AIR ET D'HYDROGÈNE.

La compressibilité des mélanges d'air et d'hydrogène purs et secs étudiés, dans lesquels la proportion du dernier gaz va en croissant à partir de 9,55 pour 100, est intermédiaire, pour de petites pressions initiales, entre celles de l'air et de l'hydrogène. Lorsque la proportion d'hydrogène ne dépasse pas 15 pour 100 environ, la compressibilité du mélange est d'abord comprise entre celle de l'air et la loi de Mariotte et la pression initiale limite de cette période diminue avec l'augmentation d'hydrogène; elle est sensiblement 205^{cm} de mercure pour le mélange à 9,55 et 170^{cm} pour celui à 12,95 d'hydrogène pour 100.

Mais, la quantité d'hydrogène augmentant, la compressibilité des mélanges, dans les limites de nos expériences, tout en restant intermédiaire, pour les pressions initiales faibles, entre celles de l'air et de l'hydrogène, s'écarte de la loi de Mariotte dans le même sens que celle de l'hydrogène, c'est-à-dire, est comprise entre la loi de Mariotte et la compressibilité de l'hydrogène. Ce fait persiste jusqu'à une valeur de la pression initiale qui s'élève, par exemple, à 294^{cm} pour le mélange à 9,55 et à 144^{cm} pour celui à 28,12.

Lorsque la pression initiale augmente, l'écart, par rapport à la loi de Mariotte, pour un mélange déterminé, reste de même sens, en devenant plus grand pour le mélange que pour l'hydrogène, et cet écart croît avec la pression initiale, de sorte que la compressibilité du mélange est alors constamment moindre que celle de l'hydrogène.

Si l'on augmente la quantité d'hydrogène, la compressibilité du mélange s'écarte progressivement, quoique lentement, de celle de l'hydrogène, mais, pour une proportion d'hydrogène comprise entre 33,08 et 39,28 pour 100, cette compressibilité du mélange non seulement ne tend plus à s'écartez de celle de l'hydrogène, mais, au contraire, s'en rapproche pour des pressions initiales faibles, inférieures à 180^{cm} de mercure environ.

La proportion d'hydrogène continuant à croître, la compressibilité du mélange se rapproche de celle de l'hydrogène pour toutes les expériences de la série, c'est-à-dire, pour une pression initiale quelconque dans les limites signalées. L'étude des mélanges à 49,89 et 65,67 pour 100 d'hydrogène met nettement ce fait en évidence : la compressibilité du premier est,

en effet, plus voisine de celle de l'hydrogène que celle du mélange à 39,28 et devient intermédiaire entre celles de l'air et de l'hydrogène pour une pression initiale plus élevée; le dernier mélange à 65,67 présente, à son tour, une compressibilité plus voisine de celle de l'hydrogène que le mélange à 49,89.

Ainsi, après écart, la compressibilité des mélanges d'air et d'hydrogène étudiés, inférieure à partir d'une certaine pression initiale à celle de l'hydrogène, tend vers celle-ci à mesure que la quantité de ce gaz augmente. C'est un fait absolument analogue à celui que nous avons signalé, dans le Chapitre II, pour les mélanges d'air et de gaz carbonique; seulement, ici, la compressibilité est inférieure à la loi de Mariotte, tandis qu'alors elle lui était supérieure.

CHAPITRE IV.

MÉLANGES DE GAZ CARBONIQUE ET D'HYDROGÈNE.

I. — FORMATION DES MÉLANGES.

L'étude de la compressibilité des mélanges de gaz carbonique et d'hydrogène a été faite, par nous, à l'aide d'une série de douze mélanges, dans lesquels la quantité d'hydrogène est successivement de 7,51, 15,78, 19,78, 24,47, 29,08, 37,50, 45,02, 51,70, 56,66, 61,66, 72,82 et 80,40 pour 100.

Le premier résultat à obtenir a été de remplir le récipient en cuivre rouge, destiné aux mélanges gazeux, de gaz carbonique pur et sec. L'opération, qui a été particulièrement longue, s'est faite dans les conditions suivantes. Après départ, à l'extérieur, du dernier mélange d'air et d'hydrogène étudié, on a envoyé, au moyen de la pompe rotative, du gaz carbonique sec dans le récipient, de manière à obtenir une pression d'environ 3^{atm}. Puis on a déterminé le départ du mélange ainsi obtenu, et l'on a renouvelé l'envoi du gaz carbonique pour retrouver la pression précédente. Après un nouveau départ, on a recommencé l'opération une douzaine de fois. Jusqu'à ce moment, le gaz carbonique introduit était sec, mais non pur; on l'obtenait, en effet, à l'aide d'acide chlorhydrique du commerce, ce qui était beaucoup plus économique.

Mais, pour la suite des opérations, l'appareil générateur a toujours fourni du gaz carbonique pur. Ce gaz était, comme précédemment, envoyé dans le récipient à mélanges sous une pression voisine de 3^{atm}, puis on déterminait par absorption, à l'aide de la potasse, la proportion de gaz carbonique. L'analyse faite, on laissait échapper le mélange et tout recommençait dans le même ordre : addition de gaz carbonique pur et sec jusqu'à une pression de 3^{atm} environ, analyse du mélange au point de vue de la quantité de gaz carbonique, départ du mélange de manière à abaisser la pression à 1^{atm}, et ainsi de suite.

L'ensemble des opérations précédentes nous a occupé plusieurs semaines, et nous avons pu voir la proportion des gaz autres que le gaz carbonique

passer successivement, en décroissant, par les valeurs 22,9, 17,44, 15,81, 15,71, 14,11, 14,05, 5,58, 3,88, 2,58, 2,07, 1,54, 1,11, 0,99, 0,50, et, finalement, quantité absolument inappréciable pour 100. Nous avons alors continué l'envoi de gaz carbonique pur et sec dans le récipient, de manière à éléver la pression à 10^{atm} environ, et constitué de la sorte une masse de gaz carbonique pur et sec.

C'est cette masse que nous avons additionnée d'hydrogène, de manière à former un premier mélange qui a été analysé et étudié; après quoi, une nouvelle addition d'hydrogène nous a fourni le deuxième mélange, et les opérations se sont poursuivies dans le même ordre, la quantité d'hydrogène allant constamment en croissant dans les mélanges successifs. Bien entendu, on avait soin, avant d'introduire l'hydrogène dans le récipient, de perdre 3 gazomètres, soit de ce gaz, soit de gaz carbonique, afin de balayer chaque fois, pour plus de sûreté, l'ensemble des appareils dessicateurs et la pompe, des gazomètres au récipient à mélanges.

Le gaz carbonique et l'hydrogène étaient préparés et purifiés, comme nous l'avons dit, dans les Chapitres précédents, à propos des mélanges de ces gaz avec l'air. Nous ajouterons seulement l'indication d'un dispositif destiné à éviter toute introduction de gaz étrangers : les deux appareils à hydrogène et gaz carbonique purs étaient placés à côté l'un de l'autre et reliés tous deux à un robinet en verre à trois voies, dont la troisième branche communiquait avec le tube en T alimentant les deux gazomètres, munis, nous le savons, de robinets, et communiquant encore tous deux, à l'aide d'un second tube en T, avec le système dessiccateur déjà décrit, mais qui était ici privé de l'éprouvette à potasse ajoutée lors de l'étude des mélanges d'air et d'hydrogène. Le robinet à trois voies permettait, sans toucher aux tubes de communication, de remplir les gazomètres de l'un ou l'autre gaz à volonté, et l'on pouvait en outre, comme toujours, grâce aux robinets des gazomètres, vider l'un pendant le remplissage de l'autre.

L'analyse du mélange gazeux se faisait, sur la cuve à mercure, dans les mêmes conditions que pour les mélanges d'air et de gaz carbonique, en absorbant ce dernier par la potasse ; l'hydrogène restait comme résidu. On avait, comme pour les autres mélanges, la précaution de reprendre les analyses à titre de contrôle.

II. — RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX.

Pour toutes les expériences relatives aux mélanges de gaz carbonique et d'hydrogène, la division repère du volume V_0 a été $17^{\text{cm}},0$, et ce volume initial valait $316^{\text{cm}},567$; le volume final $\frac{V_0}{2}$ était déterminé par la division $70^{\text{cm}},0$.

On trouvera dans les Tableaux suivants, chacun d'eux étant affecté à un mélange, les résultats numériques fournis par les expériences, résultats qui sont représentés graphiquement sur la *Pl. III*.

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES SUR L'ÉLASTICITÉ DES MÉLANGES GAZEUX. G.73

 Mélange n° 1, de gaz carbonique et d'hydrogène ($\frac{7}{100}$ d'hydrogène).

N° d'ordre des expé- riences.	TEMPÉRA- TURE du mélange gazeux.	PRESSION atmosphérique à 0° et niveau 0.	PRESSION initiale P_0 sous volume 1.	TEMPÉRA- TURE de la colonne de mercure	PRESSION finale P_1 sous volume 2.	TEMPÉRA- TURE de la colonne de mercure	DIFFÉRENCES $2P_0 - P_1$	OBSERVATIONS.
1	13,5	75,023	795,691	14,7	1516,714	14,8	+76,668	
2	13,3	75,026	760,725	14,4	1448,237	14,7	+73,213	
3	13,4	74,855	754,913	14,6	1437,229	14,6	+72,597	
4	13,9	74,988	751,428	15,1	1430,903	15,1	+71,953	
5	13,6	74,853	737,575	14,7	1404,997	14,7	+70,153	
6	14,2	74,985	705,363	15,3	1347,234	15,5	+63,472	
7	14,0	74,859	693,825	14,9	1327,040	14,8	+60,601	
8	14,1	74,857	649,054	15,0	1247,199	15,4	+50,909	
9	14,1	74,848	608,148	14,9	1172,510	15,2	+43,786	
10	14,2	74,856	569,814	14,9	1101,907	15,2	+37,721	
11	14,5	74,823	512,283	15,2	1101,965	15,6	+30,601	
12	15,0	74,807	489,229	15,5	950,854	16,0	+27,604	
13	15,3	74,803	460,580	15,7	896,657	16,2	+24,503	
14	15,5	74,801	414,710	15,8	808,577	16,1	+20,843	
15	15,3	74,793	372,421	15,7	727,873	15,7	+16,989	
16	15,4	74,802	343,463	15,8	672,215	15,8	+14,711	
17	15,0	74,945	314,919	15,0	617,433	15,6	+12,405	
18	15,1	74,944	291,289	15,1	572,105	15,7	+10,473	
19	13,2	74,859	277,974	13,2	546,533	14,4	+9,415	
20	13,5	74,855	263,929	13,5	519,428	14,6	+8,430	
21	13,7	74,851	255,969	13,7	504,229	14,7	+7,709	
22	11,9	74,556	242,181	11,9	477,484	13,6	+6,878	
23	12,0	74,555	218,897	12,0	432,382	13,7	+5,412	
24	12,1	74,554	208,292	12,1	411,667	13,7	+4,917	
25	12,3	74,552	198,757	12,3	393,131	13,8	+4,383	
26	12,5	74,550	190,248	12,5	376,665	14,0	+3,831	
27	12,6	74,539	182,190	12,6	360,933	14,1	+3,447	
28	13,0	74,515	153,293	13,0	304,155	14,3	+2,431	
29	13,3	74,502	148,482	13,3	294,653	14,3	+2,311	
30	13,3	74,493	135,581	13,3	269,231	13,3	+1,931	
31	13,5	74,483	130,840	13,5	239,898	13,5	+1,282	
32	13,6	74,472	126,907	13,6	252,182	13,6	+1,632	
33	13,7	74,462	107,332	13,7	213,317	13,7	+1,347	
34	13,8	74,450	96,751	13,8	192,490	13,8	+1,012	
35	13,8	74,440	88,550	13,8	176,280	13,8	+0,820	
36	13,8	74,440	80,889	13,8	161,077	13,8	+0,701	
37	14,1	74,424	80,323	14,1	159,995	14,1	+0,651	

Pour $P_0 = 160$ environ,
 rencontre ↑
 avec la droite CO_2 .
 ↓

Compressibilité
 du mélange
 intermédiaire
 entre celle
 du
 gaz carbonique
 et la loi
 de Mariotte.

Mélange n° 2, de gaz carbonique et d'hydrogène ($\frac{15,78}{100}$ d'hydrogène).

N° d'ordre des expé- riences.	TEMPÉRA- TURE du mélange gazeux.	PRESSION atmosphérique à 0° et niveau 0.	PRESSION initiale P ₀ sous volume 1.	TEMPÉRA- TURE de la colonne de mercure	PRESSION finale P ₁ sous volume $\frac{1}{2}$.	TEMPÉRA- TURE de la colonne de mercure	DIFFÉRENCES $2P_0 - P_1$.	OBSERVATIONS.
1	15,4	74,842	813,157	16,7	1562,267	16,8	+64,047	
2	15,6	74,840	801,612	16,8	1540,527	16,9	+62,697	
3	15,6	74,840	785,704	16,9	1510,906	17,1	+60,412	
4	15,3	74,843	782,6,9	16,6	1505,435	16,9	+59,963	
5	15,6	74,840	767,989	16,9	1478,120	17,1	+57,858	
6	15,7	74,839	718,530	17,0	1385,659	17,2	+51,401	
7	15,7	74,839	698,621	17,1	1348,692	17,3	+48,550	
8	16,1	74,833	690,320	17,3	1333,522	17,4	+47,118	
9	16,4	74,820	639,553	17,4	1239,555	17,7	+39,551	
10	16,3	74,821	630,261	17,3	1222,444	17,6	+38,078	
11	16,6	74,797	609,984	17,6	1184,557	17,8	+35,411	
12	16,8	74,785	679,599	17,7	1127,563	17,9	+31,635	
13	16,8	74,785	542,072	17,7	1056,546	18,0	+27,598	
14	15,9	74,540	492,649	17,1	963,245	17,6	+22,053	
15	16,5	74,542	464,346	17,6	908,928	17,9	+19,764	
16	16,3	74,594	449,118	17,5	879,694	17,9	+18,542	
17	16,5	74,620	415,427	17,7	814,710	18,1	+16,144	
18	16,5	74,620	391,820	17,8	769,327	17,8	+14,313	
19	15,4	74,575	385,263	17,0	756,455	17,0	+14,075	
20	15,5	74,554	370,546	17,0	727,890	17,0	+13,202	
21	15,7	74,542	309,935	15,7	610,669	17,1	+9,201	
22	15,7	74,542	292,985	15,7	577,712	17,1	+8,258	
23	16,6	74,531	272,733	16,6	538,626	17,8	+6,840	
24	16,7	74,530	258,854	16,7	511,734	17,9	+5,974	
25	16,7	74,534	240,348	16,7	475,593	17,9	+5,104	
26	16,8	74,538	222,977	16,8	441,768	18,0	+4,186	
27	17,0	74,535	212,563	17,0	421,482	18,1	+3,644	
28	17,1	74,554	202,735	17,1	402,242	18,2	+3,228	
29	17,1	74,554	197,388	17,1	391,775	18,1	+3,001	
30	15,3	74,595	161,673	15,3	321,116	16,4	+2,230	
31	15,6	74,621	153,834	15,6	305,671	16,6	+1,997	
32	15,7	74,640	148,625	15,7	295,435	16,7	+1,815	
33	15,5	74,671	135,872	15,5	269,997	15,5	+1,747	
34	15,7	74,679	129,624	15,7	257,714	15,7	+1,534	
35	15,7	74,679	121,136	15,7	240,957	15,7	+1,315	
36	15,7	74,727	114,092	15,7	227,066	15,7	+1,118	
37	15,7	74,737	108,019	15,7	215,030	15,7	+1,008	
38	15,6	74,748	96,949	15,6	193,064	15,6	+0,834	
39	15,7	74,747	92,291	15,7	183,807	15,7	+0,775	
								Compressibilité comprise entre Intersection avec droite CO_2 . ↑ ↓
								Compressibilité comprise entre celle du gaz carbonique et la loi de Mariotte. ↑ ↓

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES SUR L'ÉLASTICITÉ DES MÉLANGES GAZEUX. G.75

 Mélange n° 3 de gaz carbonique et d'hydrogène ($\frac{19,78}{100}$ d'hydrogène).

N° d'ordre des expé- riences.	TEMPÉRA- TURE du mélange gazeux.	PRESSION atmosphérique à 0° et niveau 0.	PRESSION initiale P ₀ sous volume 1.	TEMPÉRA- TURE de la colonne de mercure	PRESSION finale P ₁ sous volume 1.	TEMPÉRA- TURE de la colonne de mercure	DIFFÉRENCES 2 P ₀ — P ₁ .	OBSERVATIONS.
1	16,3	74,899	802,861	17,3	1553,410	17,6	+ 52,312	
2	16,4	74,898	797,472	17,4	1543,946	17,8	+ 50,998	
3	16,5	74,886	789,644	17,4	1529,411	17,9	+ 49,877	
4	16,6	74,886	785,878	17,5	1522,481	17,9	+ 49,275	
5	16,7	74,885	774,929	17,6	1502,256	17,9	+ 47,602	
6	16,8	74,885	757,992	17,6	1470,347	18,0	+ 45,637	
7	16,7	74,896	702,828	17,6	1366,655	17,8	+ 39,001	
8	16,7	74,906	694,534	17,6	1350,956	17,8	+ 38,112	
9	16,8	74,904	681,659	17,6	1326,795	17,8	+ 36,523	
10	16,8	74,904	646,075	17,6	1259,551	18,1	+ 32,599	
11	16,9	74,902	591,122	17,8	1154,567	18,1	+ 27,677	
12	16,9	74,912	539,042	17,7	1054,779	18,1	+ 23,305	
13	16,9	74,922	504,851	17,7	989,067	18,1	+ 20,635	
14	15,3	75,219	489,811	16,2	966,091	16,6	+ 19,531	
15	15,8	75,228	451,578	16,5	886,084	16,9	+ 17,072	
16	16,0	75,231	435,148	16,8	854,419	17,1	+ 15,877	
17	16,1	75,239	431,468	16,8	847,404	17,1	+ 15,532	
18	16,6	74,827	386,837	17,9	760,839	17,9	+ 12,835	
19	16,8	74,825	377,824	18,1	743,384	18,1	+ 12,264	
20	16,9	74,833	372,277	18,1	732,650	18,1	+ 11,904	
21	16,9	74,823	362,608	18,2	713,722	18,1	+ 11,494	
22	16,4	74,631	344,752	18,1	679,106	18,1	+ 10,398	
23	16,4	74,631	325,926	16,4	642,736	18,1	+ 9,116	
24	16,5	74,630	318,927	16,5	629,207	18,1	+ 8,647	
25	16,6	74,629	305,596	16,6	603,205	18,2	+ 7,987	
26	16,9	74,605	294,038	16,9	580,872	18,4	+ 7,204	
27	17,0	74,604	283,601	17,0	560,747	18,4	+ 6,455	
28	17,1	74,623	264,882	17,1	524,219	18,4	+ 5,545	
29	17,1	74,623	250,125	17,1	495,343	18,4	+ 4,907	
30	17,3	74,621	230,258	17,3	456,605	18,5	+ 3,911	Coupe droite CO ₂ a P ₀ =232 env.
31	17,3	74,621	217,486	17,3	431,611	18,5	+ 3,361	
32	17,2	74,582	212,152	17,2	421,258	18,4	+ 3,046	
33	17,3	74,581	203,778	17,3	408,721	18,5	+ 2,835	
34	16,3	74,938	196,076	16,3	389,529	17,5	+ 2,623	
35	16,1	75,288	185,531	16,1	368,747	17,2	+ 2,315	
36	16,1	75,288	182,168	16,1	362,123	17,3	+ 2,211	
37	16,3	75,285	165,678	16,3	329,544	17,3	+ 1,812	
38	16,3	75,285	156,896	16,3	312,153	17,4	+ 1,639	
39	16,5	75,297	136,362	16,5	271,415	17,0	+ 1,309	
40	16,8	75,300	122,324	16,8	243,685	16,8	+ 1,083	
41	16,9	75,298	109,537	16,9	218,221	16,9	+ 0,853	
42	17,0	75,297	107,542	17,0	214,249	17,0	+ 0,835	
43	17,0	75,297	99,363	17,0	197,938	17,0	+ 0,788	
44	17,1	75,296	88,393	17,1	176,189	17,1	+ 0,597	

Compressibilité intermédiaire entre celle du gaz carbonique et la loi de Mariotte.

Compressibilité plus grande que celle du gaz carbonique.

↓

Mélange n° 4 de gaz carbonique et d'hydrogène ($\frac{24.47}{100}$ d'hydrogène).

N° d'ordre des expé- riences.	TEMPÉRA- TURE du mélange gazeux.	P <small>RESSION</small> atmosphérique à 0° et niveau 0.	P <small>RESSION</small> initiale P ₀ sous volume 1.	TEMPÉRA- TURE de la colonne de mercure	P <small>RESSION</small> finale P ₁ sous volume 2.	TEMPÉRA- TURE de la colonne de mercure	D <small>IFFÉRENCES</small> $2 P_0 - P_1$	OBSERVATIONS.
1	0	cm	cm	0	cm	0	cm	
2	17,1	75,455	807,301	19,0	1568,180	20,0	+46,422	
3	17,1	75,455	796,834	19,0	1548,837	20,2	+44,831	
4	17,3	75,463	784,474	19,2	1525,844	20,3	+43,104	
5	17,5	75,450	768,534	19,4	1495,832	20,4	+41,236	
6	17,7	75,448	700,796	19,5	1367,489	20,5	+34,103	
7	18,1	75,449	686,895	19,5	1340,942	20,5	+32,848	
8	17,8	75,442	637,896	19,7	1247,401	20,5	+28,391	
9	18,8	75,446	599,174	19,6	1173,084	20,5	+25,264	
10	19,1	75,440	578,047	20,4	1132,374	21,0	+24,480	
11	19,1	75,430	539,967	20,4	1058,875	21,1	+23,720	
12	18,5	75,437	498,971	20,0	979,626	20,8	+18,316	
13	19,1	75,430	465,161	20,4	914,202	21,0	+16,120	
14	19,2	75,429	429,383	20,4	844,638	21,0	+14,128	
15	16,1	75,694	395,838	17,0	779,507	17,1	+12,169	
16	16,1	75,694	373,140	17,0	739,238	17,0	+11,942	
17	16,4	75,691	369,523	17,2	728,247	17,2	+10,799	
18	16,3	75,692	367,321	17,2	723,953	17,2	+10,689	
19	16,5	75,690	361,122	17,3	711,953	17,3	+10,291	
20	16,6	75,689	343,307	17,4	677,345	17,4	+9,269	
21	16,5	75,690	321,958	16,5	635,853	17,3	+8,063	
22	15,8	75,966	319,050	15,8	630,227	17,0	+7,873	
23	16,0	75,972	314,563	16,0	621,576	17,1	+7,550	
24	16,1	75,971	306,701	16,1	606,198	17,2	+7,204	
25	16,2	75,980	296,793	16,2	586,837	17,2	+6,749	
26	16,2	75,980	279,535	16,2	553,261	17,2	+5,809	
27	17,0	75,971	273,541	17,0	541,562	17,6	+5,520	
28	16,8	75,973	258,322	16,8	511,782	17,5	+4,862	
29	16,8	75,973	251,563	16,8	498,555	17,5	+4,571	
30	15,8	75,392	237,927	15,8	471,837	17,4	+4,017	
31	16,0	75,389	235,068	16,0	466,335	17,5	+3,801	
32	16,2	75,387	226,753	16,2	449,940	17,5	+3,566	
33	16,3	75,386	218,551	16,3	433,887	17,9	+3,215	
34	16,5	75,383	207,189	16,5	411,543	18,0	+2,835	
35	16,6	75,382	202,903	16,6	403,192	18,1	+2,614	
36	17,0	75,376	191,136	17,0	380,033	18,3	+2,239	
37	17,1	75,375	185,347	17,1	368,697	18,5	+1,997	
38	16,6	75,667	159,981	16,6	318,310	18,1	+1,652	
39	16,6	73,663	143,313	16,6	285,371	17,4	+1,255	
40	17,0	75,654	132,480	17,0	263,871	17,0	+1,089	
41	17,3	75,650	126,070	17,3	251,157	17,3	+0,983	
42	17,3	75,650	117,863	17,3	234,860	17,3	+0,866	
43	17,2	75,453	108,693	17,2	216,617	17,2	+0,739	
44	17,5	75,450	103,732	17,5	206,860	17,5	+0,604	
45	17,5	75,450	94,031	17,5	187,489	17,5	+0,573	

Traverse ligne CO₂
pour P₀=243 environ.
↑ ↓
Compressibilité intermédiaire
entre celle du gaz carbonique
et la loi de Mariotte.

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES SUR L'ÉLASTICITÉ DES MÉLANGES GAZEUX. G.77

Mélange n° 3 de gaz carbonique et d'hydrogène ($\frac{29,08}{100}$ d'hydrogène).

N° d'ordre des expé- riences.	TEMPÉ- RATURE du mélange gazeux.	PRESSION atmosphérique à 0° et niveau 0.	PRESSION initiale P ₀ sous volume 1.	TEMPÉ- RATURE de la colonne de mercure	PRESSION finale P ₁ sous volume $\frac{1}{2}$.	TEMPÉ- RATURE de la colonne de mercure	DIFFÉRENCES 2 P ₀ — P ₁ .	OBSERVATIONS.
1	18,8	74,553	827,352	20,0	1616,942	21,0	+37,762	
2	18,7	74,564	803,193	20,0	1570,696	21,3	+33,690	
3	18,6	74,565	780,653	20,0	1527,505	21,3	+33,801	
4	18,6	74,565	728,672	20,0	1427,688	21,5	+29,656	
5	18,8	74,563	715,394	20,1	1402,028	21,5	+28,760	
6	18,9	74,571	671,625	20,2	1317,766	21,6	+25,484	
7	18,8	74,572	632,309	20,2	1241,876	21,2	+22,742	
8	19,0	74,570	618,874	20,3	1215,939	21,3	+21,809	
9	19,1	74,569	611,947	20,4	1202,514	21,3	+21,380	
10	19,0	74,570	601,474	20,4	1182,319	21,4	+20,629	
11	19,1	74,569	578,335	20,4	1137,614	21,5	+19,056	
12	19,1	74,578	542,411	20,5	1068,072	21,5	+16,750	
13	19,3	74,576	523,415	20,6	1031,292	21,6	+15,538	
14	18,2	74,967	479,999	19,2	946,963	20,1	+13,035	
15	18,4	74,974	448,984	19,4	886,789	20,1	+11,179	
16	18,6	74,972	443,506	19,5	880,064	20,2	+10,948	
17	18,6	74,972	425,629	19,5	841,447	20,3	+ 9,811	
18	18,8	74,979	388,068	19,7	767,842	19,7	+ 8,294	
19	18,6	74,981	367,644	19,6	727,836	19,7	+ 7,452	
20	18,6	74,972	327,800	18,6	649,574	19,8	+ 6,026	
21	18,8	74,979	303,899	18,8	602,802	20,0	+ 4,996	Traverse droite CO ₂ pour P ₀ = 305 env.
22	19,0	74,975	288,787	19,0	572,964	20,2	+ 4,610	↓
23	18,7	74,979	281,393	18,7	558,383	20,0	+ 4,403	
24	19,0	74,975	264,669	19,0	525,525	20,1	+ 3,813	
25	18,9	74,967	251,511	18,9	499,802	20,1	+ 3,220	
26	19,5	74,960	229,463	19,5	436,309	20,5	+ 2,617	
27	17,4	74,916	218,309	17,4	434,159	19,4	+ 2,459	
28	18,1	74,917	214,279	18,1	426,245	20,0	+ 2,313	
29	18,5	74,912	209,956	18,5	417,741	20,1	+ 2,171	
30	18,5	74,912	199,627	18,5	397,386	20,2	+ 1,868	
31	18,9	74,907	191,942	18,9	382,091	20,6	+ 1,793	
32	19,7	74,898	189,143	19,7	376,677	21,0	+ 1,609	
33	19,0	74,901	175,774	19,0	350,151	20,8	+ 1,397	
34	19,5	74,900	162,188	19,5	323,214	21,2	+ 1,162	
35	18,8	74,908	156,507	18,8	312,021	20,8	+ 0,993	
36	19,0	74,906	150,230	19,0	299,655	20,9	+ 0,805	
37	19,5	74,900	133,141	19,5	265,601	19,5	+ 0,681	
38	20,0	74,894	127,994	20,0	255,395	20,0	+ 0,593	
39	20,1	74,893	107,403	20,1	214,328	20,1	+ 0,478	

Compressibilité comprise entre celle
du gaz carbonique et la loi de Mariotte.

Mélange n° 6 de gaz carbonique et d'hydrogène ($\frac{37,50}{100}$ d'hydrogène).

N° d'ordre des expé- riences.	TEMPÉ- RATURE du mélange gazeux.	PRESSION atmosphérique à 0° et niveau 0.	P <small>o</small> pression initiale sous volume 1.	TEMPÉ- RATURE de la colonne de mercure	P <small>o</small> SSION finale sous volume $\frac{1}{2}$.	TEMPÉ- RATURE de la colonne de mercure	DIFFÉRENCES $P_o - P_{\frac{1}{2}}$	OBSERVATIONS.
1	21,6	74,767	818,695	22,6	1609,486	23,4	+27,904	
2	21,2	74,772	806,125	22,2	1585,741	23,0	+26,509	
3	21,4	74,779	796,456	22,5	1567,257	23,7	+25,655	
4	21,7	74,776	753,743	22,6	1483,095	23,2	+22,301	
5	21,3	74,790	705,583	22,4	1392,064	23,2	+19,102	
6	21,1	74,802	687,417	22,3	1356,809	23,1	+18,021	
7	20,9	74,825	674,166	22,2	1331,002	23,2	+17,330	
8	20,9	74,844	640,788	22,3	1265,978	23,1	+15,598	
9	20,6	74,847	601,572	22,2	1180,457	23,0	+13,687	
10	20,6	74,867	590,492	22,2	1167,779	23,1	+13,205	
11	20,8	74,865	567,700	22,2	1123,193	23,1	+12,207	
12	20,9	74,874	549,468	22,4	1087,473	23,2	+11,463	
13	20,9	74,884	515,934	22,4	1021,866	23,3	+10,002	
14	20,8	74,885	506,611	22,4	1003,611	23,2	+9,611	
15	20,9	74,884	494,805	22,5	980,489	23,3	+9,121	
16	20,8	74,885	482,832	22,5	957,018	23,3	+8,646	
17	21,1	74,882	438,233	22,6	869,457	23,4	+7,009	
18	21,2	74,881	427,350	22,6	847,991	23,4	+6,799	
19	18,9	75,263	390,057	21,0	774,374	20,8	+5,740	
20	18,9	75,263	379,064	20,9	752,764	20,9	+5,364	
21	19,3	75,259	371,608	21,2	738,203	21,2	+5,013	
22	19,5	75,257	368,281	21,2	731,593	21,3	+4,969	
23	19,6	75,266	356,415	21,3	708,218	21,4	+4,612	
24	19,7	75,264	336,706	21,4	669,289	21,4	+4,123	
25	19,6	75,275	320,141	19,6	636,669	21,4	+3,613	
26	20,2	75,258	307,101	20,2	610,801	21,8	+3,398	
27	20,0	75,260	298,540	20,0	593,895	21,7	+3,185	
28	19,8	74,937	283,223	19,8	563,565	21,4	+2,881	
29	20,3	74,931	273,124	20,3	543,557	22,0	+2,691	
30	20,1	74,943	258,934	20,1	515,473	21,7	+2,393	
31	20,1	74,952	245,960	20,1	489,699	21,7	+2,221	
32	19,9	74,964	233,338	19,9	464,671	21,6	+2,005	
33	20,0	74,973	229,792	20,0	457,598	21,7	+1,986	
34	20,1	74,972	225,546	20,1	449,236	21,8	+1,856	
35	20,0	74,963	214,236	20,0	426,851	21,7	+1,661	
36	20,1	74,952	203,952	20,1	406,397	21,8	+1,507	
37	20,5	74,947	190,295	20,5	379,393	22,1	+1,197	
38	20,9	74,923	178,758	20,9	356,582	22,3	+0,934	
39	20,7	74,906	161,176	20,7	321,640	22,2	+0,712	
40	21,5	74,896	153,934	21,5	307,260	22,7	+0,608	
41	20,7	74,906	148,897	20,7	297,227	22,3	+0,567	
42	21,0	74,902	123,099	21,0	245,839	21,0	+0,359	
43	21,1	74,901	114,499	21,1	228,730	21,1	+0,268	
44	21,5	74,886	105,742	21,5	211,294	21,5	+0,190	

Compressibilité du mélange comprise entre celle du gaz carbonique et la loi de Mariotte.
 Compressibilité du mélange supérieur à celle du gaz carbonique.
 ↑
 ↓
 Intersection avec la droite CO^2 pour $P_o = 468$ env.

RECHERCHES EXPÉIMENTALES SUR L'ÉLASTICITÉ DES MÉLANGES GAZEUX. G.79

 Mélange n° 7 de gaz carbonique et d'hydrogène ($\frac{45,0}{100}$ d'hydrogène).

N° d'ordre des expé- riences.	TEMPÉRA- TURE du mélange gazeux.	PRESSION atmosphérique à 0° et niveau 0.	PRESSION initiale P ₀ sous volume 1.	TEMPÉRA- TURE de la colonne de mercure	PRESSION finale P ₁ sous volume $\frac{1}{2}$.	TEMPÉRA- TURE de la colonne de mercure	DIFFÉRENCES $2P_0 - P_1$.	OBSERVATIONS.
1	17,9	75,483	786,999	18,7	1555,707	18,8	+18,291	
2	18,1	75,481	774,409	18,9	1531,506	19,1	+17,312	
3	18,2	75,480	767,734	19,2	1518,540	19,4	+16,928	
4	18,4	75,477	762,629	19,6	1508,710	19,5	+16,548	
5	18,6	75,485	753,145	19,6	1490,310	19,5	+15,980	
6	18,9	75,471	722,292	19,9	1430,042	19,6	+14,542	
7	18,7	75,483	678,187	19,7	1343,554	19,6	+12,820	
8	18,8	75,482	668,412	19,9	1324,426	19,7	+12,458	
9	18,8	75,482	649,775	19,9	1287,808	20,1	+11,742	
10	19,1	75,479	635,530	20,0	1259,761	20,2	+11,299	
11	19,0	75,480	618,639	20,0	1226,662	20,1	+10,616	
12	19,1	75,479	582,559	20,1	1155,874	20,2	+9,244	
13	19,2	75,468	570,958	20,2	1133,228	20,3	+8,688	
14	19,1	75,469	557,964	20,1	1107,720	20,2	+8,208	
15	19,2	75,488	533,953	20,2	1060,565	20,4	+7,341	
16	19,4	75,485	500,799	20,2	995,306	20,5	+6,292	
17	19,2	75,488	487,130	20,2	968,453	20,4	+5,807	
18	19,3	75,496	459,944	20,2	914,715	20,4	+5,173	
19	19,4	75,050	431,978	20,2	859,376	20,8	+4,580	
20	19,4	75,060	419,435	20,1	834,609	20,6	+4,301	
21	19,2	75,072	392,170	20,0	780,653	20,1	+3,687	
22	19,2	75,072	388,389	20,1	773,188	20,1	+3,590	
23	19,4	75,070	375,484	20,2	747,717	20,2	+3,251	
24	19,6	75,058	362,076	20,3	721,074	20,3	+3,078	
25	19,5	75,049	341,825	20,3	680,820	20,4	+2,830	
26	19,5	75,048	307,481	19,5	612,604	20,5	+2,358	
27	19,5	75,059	294,267	19,5	586,328	20,6	+2,206	
28	19,6	75,058	284,723	19,6	567,387	20,6	+2,059	
29	19,7	75,057	278,058	19,7	554,185	20,7	+1,931	
30	19,6	75,058	262,275	19,6	522,782	20,6	+1,768	
31	19,7	75,057	257,176	19,7	512,691	20,7	+1,661	
32	19,9	75,064	241,218	19,9	481,038	20,8	+1,398	
33	20,2	75,051	229,779	20,2	458,225	21,0	+1,333	
34	20,3	75,050	209,881	20,3	418,678	21,0	+1,084	
35	20,2	75,051	199,206	20,2	397,424	21,0	+0,988	
36	20,1	75,062	183,726	20,1	366,654	21,0	+0,798	
37	18,9	75,412	165,689	18,9	330,776	20,2	+0,602	
38	18,9	75,412	155,871	18,9	311,304	20,2	+0,438	
39	19,1	75,400	126,888	19,1	253,564	19,1	+0,212	
40	19,3	75,397	113,267	19,3	226,346	19,3	+0,188	

Compressibilité du mélange intermédiaire entre celle
du gaz carbonique et la loi de Mariotte.

Mélange n° 8 de gaz carbonique et d'hydrogène ($\frac{31,70}{100}$ d'hydrogène).

N° d'ordre des expé- riences.	TEMPÉRA- TURE du mélange gazeux.	PRESSION atmosphérique et à 0° niveau 0.	PRESSION initiale P ₀ sous volume 1.	TEMPÉRA- TURE de la colonne de mercure	PRESSION finale P ₁ sous volume $\frac{1}{2}$.	TEMPÉRA- TURE de la colonne de mercure	DIFFÉRENCES $2P_0 - P_1$	OBSERVATIONS.
4	19,7	75,165	791,428	20,6	1568,823	21,2	+14,033	Comp. sup. à celle CO ₂ . Pour P ₀ = 77 ³ envir., traverse droite CO ₂ . ↓
2	19,6	75,156	733,591	20,6	1455,708	21,4	+11,474	
3	19,6	75,147	725,178	20,5	1439,229	21,2	+11,127	
4	19,9	75,143	716,588	20,7	1422,395	21,4	+10,781	
5	20,0	75,142	700,503	20,7	1390,818	21,4	+10,188	
6	20,0	75,142	677,524	20,7	1345,638	21,5	+9,410	
7	20,0	75,132	670,019	20,7	1330,880	21,6	+9,158	
8	20,2	75,110	652,343	21,0	1296,054	21,3	+8,632	
9	18,5	75,209	614,544	19,6	1221,504	20,7	+7,586	
10	18,8	75,195	605,191	19,7	1203,068	20,5	+7,314	
11	19,0	75,223	599,601	19,8	1192,004	20,5	+7,198	
12	19,2	75,231	579,431	20,0	1152,227	20,5	+6,635	
13	19,2	75,231	563,185	20,0	1120,184	20,5	+6,186	
14	19,2	75,231	538,151	20,0	1070,698	20,6	+5,604	
15	19,4	75,238	530,661	20,1	1055,931	20,8	+5,391	
16	19,4	75,238	527,191	20,2	1049,010	20,9	+5,372	
17	19,7	75,254	512,280	20,5	1019,433	20,9	+5,127	
18	19,5	75,256	491,990	20,3	979,098	20,8	+4,882	
19	19,7	75,254	452,603	20,6	901,014	21,2	+4,192	
20	19,8	75,253	438,873	20,5	873,874	20,9	+3,872	
21	20,2	75,249	424,100	20,6	844,512	21,0	+3,688	
22	20,1	75,250	393,621	20,8	783,949	20,8	+3,293	
23	18,4	75,191	384,102	19,6	763,126	19,4	+3,078	
24	18,1	75,195	367,389	19,4	731,975	19,6	+2,863	
25	18,6	75,189	359,889	19,7	717,091	19,7	+2,687	
26	18,6	75,189	337,112	19,8	671,835	19,9	+2,389	
27	18,9	75,185	308,841	18,9	615,656	20,0	+2,026	
28	19,3	75,161	299,872	19,3	597,842	20,4	+1,992	
29	19,5	75,158	284,532	19,5	567,308	20,5	+1,756	
30	19,7	75,146	270,282	19,7	539,113	20,6	+1,451	
31	19,4	75,021	258,051	19,4	514,713	20,6	+1,389	
32	19,7	75,028	253,133	19,7	504,965	20,9	+1,301	
33	19,5	75,030	245,256	19,5	489,255	20,9	+1,257	
34	19,5	75,030	233,507	19,5	465,916	20,7	+1,098	
35	19,5	75,030	225,559	19,5	450,119	20,6	+0,999	
36	19,8	75,016	205,807	19,8	410,812	20,8	+0,802	
37	19,6	75,018	200,075	19,6	399,354	20,7	+0,796	
38	19,6	75,018	189,913	19,6	379,190	20,7	+0,636	
39	19,7	75,017	181,369	19,7	362,140	20,8	+0,598	
40	19,3	75,061	157,875	19,3	315,361	20,6	+0,389	
41	18,7	75,118	132,061	18,7	263,914	18,7	+0,208	
42	19,0	75,104	119,264	19,0	238,353	19,0	+0,175	
43	19,2	75,102	114,246	19,2	228,360	19,2	+0,132	

Compressibilité du mélange intermédiaire entre celle du gaz carbonique
et la loi de Mariotte.

Mélange n° 9 de gaz carbonique et d'hydrogène ($\frac{56,66}{100}$ d'hydrogène).

N° d'ordre des expé- riences.	TEMPÉRA- TURE du mélange gazeux.	PRESSION atmosphérique à 0° et niveau 0.	PRESSION initiale P_0 sous volume 1.	TEMPÉRA- TURE de la colonne de mercure	PRESSION finale P_1 sous volume $\frac{1}{2}$.	TEMPÉRA- TURE de la colonne de mercure	DIFFÉRENCES $2P_0 - P_1$.	OBSERVATIONS
1	20,7	74,768	804,908	21,8	1604,064	23,0	+ 5,752	
2	20,6	74,759	764,136	21,6	1523,829	22,7	+ 4,443	
3	20,8	74,707	731,994	21,5	1460,186	22,5	+ 3,802	
4	20,9	74,656	663,481	21,7	1324,177	22,6	+ 2,785	
5	21,3	74,643	635,551	22,1	1268,607	22,7	+ 2,495	
6	20,9	74,665	613,114	22,0	1223,834	22,7	+ 2,374	
7	21,1	74,723	581,671	22,3	1161,136	23,1	+ 2,206	
8	21,1	74,733	565,525	22,3	1128,857	23,1	+ 2,193	
9	21,6	74,737	552,866	22,6	1103,568	23,3	+ 2,164	
10	19,6	75,107	536,879	20,9	1071,651	22,2	+ 2,107	
11	19,9	75,103	500,812	21,1	999,623	22,2	+ 2,001	
12	20,0	75,092	487,060	21,1	972,122	22,1	+ 1,998	
13	20,2	75,090	479,156	21,2	956,324	22,1	+ 1,988	
14	20,4	75,087	460,804	21,4	919,684	22,3	+ 1,924	
15	19,8	75,104	446,292	21,5	890,674	22,5	+ 1,910	
16	19,8	75,104	439,724	21,6	877,615	22,6	+ 1,833	
17	19,9	75,093	425,696	21,9	849,592	22,9	+ 1,800	
18	20,0	75,092	412,441	21,9	823,998	22,9	+ 1,784	
19	19,9	75,093	370,615	21,8	739,638	21,8	+ 1,592	
20	20,0	75,092	367,341	22,0	733,126	22,1	+ 1,556	
21	19,5	74,851	310,466	19,5	619,706	21,4	+ 1,226	
22	19,6	74,860	306,933	19,6	612,668	21,6	+ 1,198	
23	19,6	74,850	299,519	19,6	597,847	21,7	+ 1,191	
24	19,7	74,849	287,122	19,7	573,060	22,0	+ 1,184	
25	20,0	74,845	275,502	20,0	549,933	21,8	+ 1,071	
26	19,8	74,847	265,751	19,8	530,499	21,8	+ 1,003	
27	20,0	74,835	258,022	20,0	515,047	22,0	+ 0,997	
28	20,0	74,821	247,275	20,0	493,580	22,1	+ 0,970	
29	20,0	74,816	237,830	20,0	474,782	22,1	+ 0,878	
30	20,1	74,805	228,037	20,1	455,269	22,2	+ 0,805	
31	20,8	74,796	221,267	20,8	441,738	22,8	+ 0,796	
32	20,4	74,791	211,621	20,4	422,511	23,1	+ 0,731	
33	20,2	74,794	205,561	20,2	410,479	22,6	+ 0,643	
34	20,4	74,791	194,832	20,4	389,063	22,8	+ 0,601	
35	20,5	74,780	187,751	20,5	374,990	23,0	+ 0,512	
36	20,3	74,782	180,383	20,3	360,321	22,7	+ 0,445	
37	20,5	74,780	169,446	20,5	338,499	22,6	+ 0,393	
38	20,6	74,779	160,185	20,6	320,062	22,6	+ 0,308	
39	19,9	74,747	150,704	19,9	301,198	21,7	+ 0,210	
40	19,9	74,767	119,735	19,9	239,365	19,9	+ 0,105	
41	20,1	74,795	107,962	20,1	215,879	20,1	+ 0,045	
42	20,3	74,793	102,925	20,3	205,820	20,3	+ 0,030	

Dans ces limites, compressibilité du mélange constamment comprise entre celle du gaz carbonique et la loi de Mariotte.

Mélange n° 10 de gaz carbonique et d'hydrogène ($\frac{61,66}{100}$ d'hydrogène).

N° d'ordre des expé- riences.	TEMPÉRA- TURE du mélange gazeux.	PRESSION atmosphérique à 0° et niveau 0.	PRESSION initiale P ₀ sous volume 1.	TEMPÉRA- TURE de la colonne de mercure	PRESSION finale P ₁ sous volume 2.	TEMPÉRA- TURE de la colonne de mercure	DIFFÉRENCES 2 P ₀ — P ₁ .	OBSERVATIONS.
1	19,9	75,459	803,629	21,4	1605,210	22,4	+ 2,048	
2	20,1	75,447	795,154	21,8	1588,553	22,9	+ 1,755	
3	20,1	75,447	784,659	21,8	1567,807	22,8	+ 1,511	
4	20,2	75,446	770,819	22,1	1540,435	22,9	+ 1,203	
5	20,1	75,437	753,997	22,1	1507,129	23,0	+ 0,865	
6	20,1	75,418	729,630	21,9	1458,828	22,8	+ 0,472	
7	20,2	75,407	712,472	22,0	1424,555	23,0	+ 0,389	
8	20,3	75,406	703,111	22,2	1405,937	23,2	+ 0,285	
9	20,3	75,396	697,175	22,2	1394,116	23,2	+ 0,234	
10	20,2	75,397	680,161	22,2	1360,119	23,4	+ 0,203	
11	20,7	75,391	673,736	22,5	1347,274	23,7	+ 0,198	
12	20,5	75,383	660,115	22,5	1320,037	23,7	+ 0,193	
13	19,8	75,302	635,332	20,8	1270,480	21,8	+ 0,184	
14	20,0	75,290	610,516	21,1	1220,871	21,9	+ 0,161	
15	20,2	75,288	597,823	21,2	1195,493	22,0	+ 0,153	
16	20,4	75,285	583,680	21,2	1167,227	22,1	+ 0,133	
17	20,3	75,286	564,832	21,3	1129,543	22,2	+ 0,121	
18	20,3	75,296	543,466	21,4	1086,813	22,2	+ 0,119	
19	20,6	75,283	524,598	21,6	1049,082	22,3	+ 0,114	
20	20,6	75,283	511,201	21,7	1022,293	22,4	+ 0,109	
21	20,7	75,282	502,596	21,7	1005,085	22,4	+ 0,107	
22	20,7	75,282	494,086	21,8	988,068	21,9	+ 0,104	
23	21,1	75,277	479,063	22,2	958,025	22,8	+ 0,101	
24	21,2	75,276	453,895	22,5	907,691	23,2	+ 0,099	
25	19,4	75,425	435,171	21,6	870,248	23,0	+ 0,094	
26	19,9	75,429	429,376	22,0	858,663	23,4	+ 0,089	
27	19,5	75,454	418,889	21,8	837,695	23,2	+ 0,083	
28	19,6	75,453	397,932	22,0	791,787	22,0	+ 0,077	
29	19,6	75,453	374,590	22,0	749,112	22,0	+ 0,068	
30	20,1	75,437	368,411	22,2	736,759	22,2	+ 0,063	
31	20,0	75,438	354,709	22,2	709,339	22,2	+ 0,059	
32	19,4	75,376	316,075	19,4	632,103	20,4	+ 0,047	
33	19,8	75,371	300,841	19,8	601,643	20,7	+ 0,039	
34	19,8	75,371	284,413	19,8	568,803	20,8	+ 0,023	
35	19,9	75,370	274,378	19,9	548,742	21,0	+ 0,014	
36	20,1	75,368	260,936	20,1	521,864	21,2	+ 0,008	
37	20,2	75,367	247,313	20,2	494,622	21,3	+ 0,004	
38	20,2	75,367	241,010	20,2	482,019	21,3	+ 0,001	
39	20,9	75,351	233,143	20,9	466,286	21,7	+ 0,000	
40	20,3	75,356	220,075	20,3	440,150	21,6	+ 0,000	
41	20,4	75,345	199,667	20,4	399,334	21,6	+ 0,000	
42	20,8	75,352	193,664	20,8	387,328	21,8	+ 0,000	
43	20,4	75,355	179,860	20,4	359,720	21,5	+ 0,000	
44	20,6	75,362	155,744	20,6	311,488	21,6	+ 0,000	
45	20,6	75,352	147,125	20,6	294,250	21,6	+ 0,000	
46	20,6	75,352	130,499	20,6	260,998	20,6	+ 0,000	
47	20,8	75,339	113,873	20,8	227,746	20,8	+ 0,000	
48	20,9	75,338	105,579	20,9	211,158	20,9	+ 0,000	

Dans les limites de précision de notre appareil, compressibilité du mélange conforme à la loi de Mariotte.

Compressibilité intermédiaire entre celle du gaz carbonique et la loi de Mariotte, mais très voisine de celle-ci.

Mélange n° 11 de gaz carbonique et d'hydrogène ($\frac{72,82}{100}$ d'hydrogène).

N° d'ordre des expé- riences.	TEMPÉRA- TURE du mélange gazeux.	PRESSION atmosphérique à 0° et niveau 0.	PRESSION initiale P ₀ sous volume 1.	TEMPÉRA- TURE de la colonne de mercure	PRESSION finale P ₁ sous volume $\frac{1}{\alpha}$.	TEMPÉRA- TURE de la colonne de mercure	DIFFÉRENCES $\Delta P_0 - P_1$.	OBSERVATIONS.
4	19,6	74,999	814,807	20,3	1633,581	20,9	- 3,967	
12	19,7	74,998	799,030	20,3	1601,908	20,9	- 3,848	
3	19,8	74,996	790,653	20,7	1585,102	21,2	- 3,796	
4	19,9	74,985	777,264	20,5	1558,201	21,2	- 3,773	
5	20,0	74,984	760,745	20,6	1525,113	21,4	- 3,623	
6	20,0	74,984	735,467	20,9	1474,475	21,6	- 3,541	
7	20,3	74,971	721,266	21,2	1445,901	21,8	- 3,419	
8	20,5	74,968	710,068	21,3	1423,921	22,1	- 3,385	
9	20,8	74,954	701,306	21,4	1405,917	22,2	- 3,305	
10	20,4	74,949	688,883	21,3	1381,024	22,2	- 3,258	
11	20,3	74,950	677,204	21,4	1357,600	22,3	- 3,192	
12	20,4	74,939	657,345	21,5	1317,753	22,5	- 3,063	
13	18,6	75,025	620,603	19,6	1243,996	20,3	- 2,790	
14	18,9	75,007	590,674	19,9	1184,004	20,3	- 2,656	
15	19,2	75,014	572,216	20,0	1147,031	20,5	- 2,599	
16	19,2	75,024	544,082	20,0	1090,558	20,4	- 2,394	
17	19,4	75,031	524,413	20,3	1051,107	20,7	- 2,281	
18	19,6	75,039	508,921	20,4	1020,040	20,8	- 2,198	
19	19,4	75,050	492,735	20,1	987,573	20,5	- 2,103	
20	19,3	75,061	468,656	20,0	939,310	20,4	- 1,998	
21	18,5	74,863	447,943	19,1	897,699	19,8	- 1,813	
22	19,9	74,985	436,143	20,9	874,034	21,5	- 1,748	
23	18,7	74,861	432,787	19,7	867,278	19,7	- 1,704	
24	18,9	74,852	403,693	19,9	808,937	20,1	- 1,551	
25	19,4	74,852	370,232	20,1	741,667	20,1	- 1,203	
26	19,4	74,852	352,896	20,1	706,922	20,1	- 1,130	
27	19,4	74,842	316,718	19,4	634,284	20,2	- 0,848	
28	19,6	74,840	303,601	19,6	608,008	20,4	- 0,806	
29	18,9	74,898	286,536	18,9	573,756	19,5	- 0,684	
30	19,0	74,907	272,235	19,0	545,043	19,5	- 0,573	
31	19,1	74,906	253,146	19,1	510,779	19,4	- 0,487	
32	19,2	74,914	239,145	19,2	478,729	19,6	- 0,439	
33	19,2	74,924	223,429	19,2	451,203	19,5	- 0,345	
34	19,2	74,934	217,729	19,2	433,771	19,4	- 0,313	
35	19,3	74,943	203,408	19,3	407,055	19,4	- 0,239	
36	19,6	74,949	187,064	19,6	374,334	19,8	- 0,208	
37	19,4	74,951	170,751	19,4	341,698	19,7	- 0,196	
38	18,2	75,006	163,899	18,2	327,973	19,0	- 0,175	
39	18,2	75,006	150,899	18,2	301,959	18,7	- 0,161	
40	18,4	75,014	128,372	18,4	256,884	18,4	- 0,140	
41	18,8	75,008	124,315	18,5	248,765	18,8	- 0,135	
42	18,8	75,008	111,952	18,8	224,033	18,8	- 0,129	

Pour $P_0 = 280$ env.,
 la courbe traverse
 la droite de II.
 → Compressibilité du mélange inférieure à celle de l'hydrogène.
 ↓ Compressibilité du mélange intermédiaire entre celle de l'hydrogène et la loi de Mariotte.

Mélange n° 12 de gaz carbonique et d'hydrogène ($\frac{80,40}{100}$ d'hydrogène).

N° d'ordre des expé- riences.	TEMPÉRA- TURE du mélange gazeux.	P <small>RESSION</small> atmosphérique à 0° et niveau 0.	P <small>RESSION</small> initiale P ₀ sous volume 1.	TEMPÉRA- TURE de la colonne de mercure	P <small>RESSION</small> finale P ₁ sous volume 1.	TEMPÉRA- TURE de la colonne de mercure	DIFFÉRENCES 2 P ₀ - P ₁ .	OBSERVATIONS.
1	18,1	75,135	813,101	18,8	1633,042	18,8	— 6,840	
2	18,0	75,146	798,562	18,7	1603,823	18,4	— 6,699	
3	17,9	75,167	776,717	18,5	1559,894	18,2	— 6,460	
4	18,1	75,165	766,808	18,2	1540,024	18,0	— 6,408	
5	18,2	75,174	753,333	18,4	1512,955	18,2	— 6,289	
6	18,3	75,172	728,667	18,7	1463,438	18,4	— 6,104	
7	18,2	75,174	711,182	18,6	1428,330	18,4	— 5,966	
8	18,4	75,171	675,786	18,7	1357,163	18,5	— 5,591	
9	18,5	75,175	641,572	18,9	1288,456	18,8	— 5,312	
10	18,6	75,169	616,531	19,1	1238,111	19,1	— 5,049	
11	18,9	75,174	594,271	19,3	1193,385	19,2	— 4,843	
12	18,9	75,174	567,602	19,2	1139,821	19,1	— 4,617	
13	18,6	75,178	533,815	18,9	1075,968	18,9	— 4,338	
14	19,0	75,173	527,685	19,3	1059,650	19,3	— 4,280	
15	19,0	75,173	502,964	19,2	1009,877	19,3	— 3,949	
16	19,2	75,171	481,326	19,3	966,277	19,4	— 3,625	
17	17,5	75,667	451,246	18,2	905,715	18,4	— 3,223	
18	17,6	75,666	418,806	18,1	840,423	18,3	— 2,811	
19	17,8	75,673	412,256	18,3	827,215	18,4	— 2,703	
20	17,8	75,673	388,019	18,3	778,437	18,3	— 2,399	
21	17,9	75,662	371,582	18,4	745,309	18,4	— 2,145	
22	17,8	75,663	363,785	18,3	729,568	18,3	— 1,998	
23	18,0	75,671	351,598	18,5	704,957	18,5	— 1,761	
24	18,4	75,666	316,955	18,4	635,249	18,8	— 1,339	
25	18,4	75,666	303,709	18,4	608,593	18,8	— 1,175	
26	18,6	75,674	294,469	18,6	589,953	19,0	— 1,015	
27	18,8	75,671	284,405	18,8	569,784	19,2	— 0,974	
28	18,7	75,672	267,342	18,7	535,342	19,1	— 0,658	
29	18,9	75,670	246,253	18,9	493,030	19,2	— 0,524	
30	18,8	75,671	237,675	18,8	475,834	19,2	— 0,484	
31	19,0	75,669	224,447	19,0	449,300	19,3	— 0,406	
32	19,0	75,669	209,437	19,0	419,268	19,3	— 0,394	
33	19,3	75,665	192,203	19,3	384,773	19,5	— 0,367	
34	19,3	75,665	177,638	19,3	355,582	19,6	— 0,306	
35	17,3	75,808	171,666	17,3	343,621	18,4	— 0,289	
36	17,4	75,807	159,918	17,4	320,112	18,5	— 0,276	
37	17,6	75,805	151,646	17,6	303,565	18,6	— 0,273	
38	17,5	75,806	144,272	17,5	288,793	18,5	— 0,249	
39	17,9	75,800	124,826	17,9	249,860	17,9	— 0,208	
40	18,0	75,799	118,076	18,0	236,328	18,0	— 0,176	
41	18,0	75,799	108,645	18,0	217,443	18,0	— 0,153	

Pour P = 260 env.
coupe droite de l'H.
↑

Compressibilité
du mélange comprise
entre celle de l'hydrogène
et la loi de Mariotte.
↓

Compressibilité du mélange plus petite que celle
de l'hydrogène.

**III. — RÉSUMÉ DE L'ÉTUDE DES MÉLANGES DE GAZ CARBONIQUE
ET D'HYDROGÈNE (*Pl. III*).**

Les Tableaux qui précèdent nous fournissent les courbes de la *Pl. III* et nous conduisent à formuler les conclusions suivantes :

Pour des mélanges de gaz carbonique et d'hydrogène, dans lesquels la quantité de ce dernier gaz a varié de 7,51 à 80,40 pour 100, la pression initiale sous volume 1 ayant été comprise entre 80^{cm},323 de mercure comme limite inférieure et 827^{cm},352 comme limite supérieure, nous remarquons, en premier lieu, que, pour des pressions initiales suffisamment grandes, la présence de l'hydrogène rend la compressibilité du mélange plus grande que celle du gaz carbonique si l'hydrogène est en moindre quantité, ou plus petite que celle de l'hydrogène si ce gaz est en proportion considérable.

Quelles que soient, d'ailleurs, les proportions des deux gaz mélangés, pour des pressions initiales faibles et moyennes dont la limite varie avec la composition du mélange, la compressibilité du mélange est toujours intermédiaire entre celles des deux gaz constituants : hydrogène et gaz carbonique ; mais cette compressibilité s'écarte de la loi de Mariotte, soit dans le même sens que le gaz carbonique, soit dans le même sens que l'hydrogène, celui-ci de signe contraire au précédent, suivant la quantité d'hydrogène que renferme le mélange.

Dans les limites, signalées plus haut, de nos expériences, lorsque la quantité d'hydrogène mélangée avec le gaz carbonique va en augmentant jusqu'à 52 pour 100 environ, la compressibilité du mélange est d'abord intermédiaire entre celles des deux gaz carbonique et hydrogène, mais elle s'écarte de la loi de Mariotte dans le même sens que l'acide carbonique, c'est-à-dire que cette compressibilité est comprise entre la loi de Mariotte et la compressibilité du gaz carbonique. Ce fait se maintient pour des valeurs de la pression initiale qui augmentent en même temps que la quantité d'hydrogène. C'est ainsi, en effet, que les pressions initiales au-dessous desquelles on peut constater cette compressibilité intermédiaire entre celle du gaz carbonique et la loi de Mariotte, et s'écartant d'autant moins vite de cette loi que l'hydrogène est en proportion plus grande, sont, très sen-

siblement, en centimètres de mercure,

160	^{cm}	pour le mélange à	7,51	pour 100 d'hydrogène,
212	"		15,78	"
232	"		19,78	"
243	"		24,47	"
306	"		29,08	"
468	"		37,50	"
617	"		45,02	"
773	"		51,70	"

Puis, pour chaque mélange, si l'on fait croître la pression initiale au-dessus de la valeur limite correspondante, signalée dans l'énumération précédente, la compressibilité du mélange, qui croît avec la pression initiale, dépasse celle du gaz carbonique et devient plus grande; mais l'écart est d'autant moins considérable que la quantité d'hydrogène est plus forte.

Si la proportion d'hydrogène dans le mélange, continuant à s'élever, varie de 52 à 62 pour 100 environ, nous constatons, dans toutes nos expériences, une compressibilité pour les mélanges intermédiaire entre celles de l'hydrogène et du gaz carbonique, mais s'écartant de la loi de Mariotte, dans le même sens que le gaz carbonique, de sorte que le mélange est plus compressible que ne le voudrait la loi. L'écart relatif à cette loi augmente, mais très lentement, avec la pression initiale, et diminue avec l'addition d'hydrogène. L'étude des deux mélanges, contenant respectivement 56,66 et 61,66 pour 100 d'hydrogène, met très nettement ces faits en évidence. Nous pouvons, en outre, constater que ce dernier mélange suit très sensiblement la loi de Mariotte pour des pressions initiales inférieures à 233^{cm}, et s'écarte fort peu de cette loi tant que la pression initiale ne dépasse pas 680^{cm}; au delà, l'écart, par rapport à la loi, s'accentue plus rapidement.

Si, maintenant, on continue à faire croître dans le mélange la proportion d'hydrogène, nous retrouvons des faits inverses de ceux du début : pour des pressions initiales relativement petites, la compressibilité du mélange est d'abord intermédiaire entre celles du gaz carbonique et de l'hydrogène; mais il y a eu changement de signe, de sorte que le mélange est moins compressible que ne le voudrait la loi de Mariotte et que sa compressibilité est comprise entre cette loi et la compressibilité de l'hydrogène. Le fait se maintient jusqu'à une valeur de la pression initiale d'autant plus

petite que la quantité d'hydrogène est plus grande ; cette valeur est effectivement 280^{cm} de mercure pour le mélange à 72,82 pour 100 d'hydrogène et 260 pour celui à 80,40.

Si la pression initiale sous volume 1 dépasse ces valeurs, la compressibilité, dans chaque mélange, continue à garder son signe par rapport à la loi de Mariotte, mais le mélange non seulement est moins compressible que ne l'exigerait cette loi, mais encore moins compressible que l'hydrogène lui-même et l'écart s'accentue avec l'augmentation de pression initiale.

Un mélange d'hydrogène et de gaz carbonique ne se comporte donc pas, ainsi que l'avait d'ailleurs prévu M. Duhem (¹), comme un mélange d'air et de gaz carbonique.

(¹) DUHEM. *Sur la liquéfaction de l'acide carbonique en présence de l'air* (*Journal de Physique*, 2^e série, t. VII, p. 158 à 168; 1888).



CHAPITRE V.

CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES ⁽¹⁾.

I. — RAPPEL DE FORMULES CONNUES.

L'hypothèse de Daniel Bernoulli consiste, on le sait, à admettre que les gaz sont constitués par un grand nombre de molécules, toutes animées de rapides mouvements de translation. La pression d'un gaz provient alors des chocs de ses molécules consécutives sur les parois du vase renfermant ce gaz.

De cette hypothèse de Daniel Bernoulli, on déduira, par le calcul, comme conséquences, ainsi que M. Van der Waals l'a montré ⁽²⁾, les deux lois de Mariotte et de Gay-Lussac, résumées simultanément par la formule

$$(1) \quad p\varrho = RT,$$

dans laquelle ϱ représente le volume occupé par le gaz parfait, sous une pression p , à la température absolue T , de sorte qu'en désignant par t la température ordinaire correspondante, on a

$$t = T - 273^{\circ}.$$

La lettre R est une constante qui dépend naturellement des unités choisies. Si l'on suppose que le gaz parfait occupe, à 0° , l'unité de volume sous une pression égale à l'unité, on a

$$p = 1, \quad \varrho = 1, \quad T = 273 + 0,$$

⁽¹⁾ Pour la rédaction de ce Chapitre, nous avons grandement profité des publications de M. Ph.-A. Guye, relatives à l'équation des fluides et aux théories de M. Van der Waals : *Les théories de M. Van der Waals* [Arch. des Sciences physiques et naturelles (Bibl. univ. de Genève), 3^e période, t. XXII, p. 540]; *Les théories de M. Van der Waals* (Séances de la Société française de Physique, p. 18; 1890); *L'équation fondamentale des fluides* (Revue générale des Sciences, t. I, p. 365; 1890); *Le point critique et l'équation des fluides* (Bulletin des Sciences physiques, t. III, p. 257; 1890-1891).

⁽²⁾ VAN DER WAALS, *Over de Continuiteit van den gas- en Vloeistofzustand*; Leiden, 1873. Cette thèse, en hollandais, a été traduite en allemand par le Dr Roth (*Die Continuität des gasförmigen und flüssigen Zustandes*; Leipzig, 1881).

d'où

$$R = \frac{1}{273}.$$

Successivement, divers physiciens tels que Rankine (¹), Hirn (²), Recknagel (³), se proposèrent de compléter l'équation (I); puis, après ces essais, M. Van der Waals démontra (⁴) que, pour tenir compte, en suivant l'exemple de Hirn, à la fois du volume de la molécule gazeuse et des attractions mutuelles de ces molécules, il fallait substituer à l'équation (I) la suivante

$$(II) \quad \left(p + \frac{a}{v^2} \right) (v - b) = RT,$$

où a , b , R sont des constantes déterminées pour chaque gaz; p , v , T gardant, d'ailleurs, les mêmes significations que dans l'équation (I). On appelle *pression interne* le terme $\frac{a}{v^2}$, que l'on ajoute ainsi à p , et, dans cette pression interne, la constante a , résultante des attractions mutuelles des molécules, est dite *attraction spécifique moléculaire*. La constante b , comme a , très petite et inférieure à l'unité, que l'on retranche du volume v , porte le nom de *covolume*, et représente, suivant M. Van der Waals, le quadruple du volume total occupé par les molécules, tant que le volume apparent est supérieur à $2b$, limite au-dessous de laquelle l'équation (II) n'est plus rigoureusement applicable. Ce covolume est d'ailleurs (⁵) proportionnel au volume moléculaire vrai d'une molécule supposée sphérique et au *pouvoir réfringent moléculaire* (⁶).

(¹) Équation de Rankine : $p v = RT - \frac{c}{T v}$, c et R constantes (*Phil. Trans.*, p. 336; 1854).

(²) Équation de Hirn : $(p + r)(v - \psi) = RT$, ψ somme des volumes des atomes, r somme des actions internes (*Théorie mécanique de la chaleur*, 2^e édit., t. I, p. 195; 1865. 3^e édit., t. II, p. 211).

(³) Équation de Recknagel : $p v = RT \left(1 - \frac{B_t}{v} \right)$, R constante, B_t fonction de la température (*Pogg. Ann., Ergbd.*, t. V, p. 563 et t. CXLV, p. 469; 1872).

(⁴) VAN DER WAALS (*Over de Continuiteit van den gas-en Vlæistofzustand*, p. 56; Leiden, 1873).

(⁵) PH.-A. GUYE : *Le coefficient critique et la constitution moléculaire des corps au point critique* (*Séances de la Société française de Physique*, p. 39; 1890).

(⁶) Le pouvoir réfringent moléculaire étant le produit MR du poids moléculaire M calculé
Fac. de T. — V.

Clausius (¹), remarquant que la pression interne, que M. Van der Waals suppose fonction du volume seul, doit dépendre aussi de la température et augmenter lorsque la température diminue, fut conduit, par l'examen des résultats d'Andrews sur le gaz carbonique, à substituer à la formule de M. Van der Waals, celle-ci

$$(III) \quad \left[p + \frac{c}{T(v+\beta)^2} \right] (v-\alpha) = RT,$$

qui donne

$$(III \ bis) \quad p = R \frac{T}{v-\alpha} - \frac{c}{T(v+\beta)^2},$$

et dans laquelle R, c, α et β sont des constantes caractéristiques du gaz considéré.

Cette formule, établie par Clausius dans le cas du gaz carbonique, fut étendue par M. Sarrau, à l'aide de nombres dus à M. Amagat, à l'oxygène (²), à l'azote et au formène (³), à l'éthylène et à l'hydrogène (⁴). La mise en œuvre, par M. Sarrau, des nombres relatifs au gaz carbonique conduisit M. Amagat (⁵) à proposer une formule contenant celle de M. Van der Waals comme cas particulier. C'est qu'en effet, ainsi que le fit remarquer M. Sarrau, la formule de Clausius elle-même n'est qu'une première approximation, et il est nécessaire, suivant une remarque de Clausius, de remplacer le facteur $\frac{c}{T}$ par une fonction θ plus générale de la température (⁶). M. Sarrau a déterminé, dans le cas du gaz carbonique, cette fonc-

pour $H^2 = 2$ par le pouvoir réfringent spécifique $R = \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \frac{I}{d}$ [PH.-A. GUYE, *Société française de Physique*, p. 39; 1890, et *Arch. des Sciences physiques et naturelles (Bibl. univ. de Genève)*, 3^e période, t. XXIII, p. 204; 1890].

(¹) R. CLAUSIUS, *Sur la manière dont se comporte l'acide carbonique en ce qui concerne la pression, le volume et la température* (*Annalen der Chemie und Physik*, de G. Wiedemann, nouv. série, t. IX, p. 127; 1879). Ce Mémoire, présenté au 52^e congrès des naturalistes et médecins allemands, le 19 septembre 1879, a été traduit par M. Duhem, dans les *Annales de Chimie et de Physique*, 5^e série, t. XXX, p. 358; 1883.

(²) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. XCIV, p. 639; 1882.

(³) *Id.*, t. XCIV, p. 718; 1882.

(⁴) *Id.*, t. XCIV, p. 845; 1882.

(⁵) *Id.*, t. XCIV, p. 847; 1882.

(⁶) CLAUSIUS, *Détermination théorique de la tension de vapeur saturée, du volume spécifique de cette vapeur et de celui du liquide* (*Annalen der Physik und Chemie*, de

tion θ , et montré (¹) que l'on avait alors

$$\theta = k \varepsilon^{-T},$$

k et ε étant des constantes. Dans ces conditions, la formule de Clausius devient celle de M. Sarrau

$$(IV) \quad \left[p + \frac{k \varepsilon^{-T}}{(\nu + \beta)^2} \right] (\nu - \alpha) = RT$$

ou

$$(IV \ bis) \quad p = R \frac{T}{\nu - \alpha} - \frac{k \varepsilon^{-T}}{(\nu + \beta)^2}.$$

Cette formule de M. Sarrau établie primitivement pour le gaz carbonique est, en réalité, beaucoup plus générale. Tout récemment (²), elle a reçu une nouvelle confirmation par son application à l'azote et la concordance remarquable des résultats avec ceux trouvés expérimentalement par Regnault et M. Amagat.

Pratiquement, les trois formules (II), (III), (IV) donnent, dans les applications numériques et comme déductions théoriques, très sensiblement les mêmes résultats, en particulier, pour ce qui est relatif aux états que peut posséder un fluide et à la notion du point critique.

II. — APPLICATION AUX MÉLANGES GAZEUX.

Profitant de la remarque précédente, nous raisonnons sur la formule de M. Van der Waals dont la forme est la plus simple.

Cette formule peut s'écrire

$$(II \ bis) \quad p = R \frac{T}{\nu - b} - \frac{a}{\nu^2}.$$

de sorte que si nous représentons par b_1 et a_1 le covolume et l'attraction spécifique moléculaire d'un premier gaz simple : hydrogène, gaz carbonique, azote, par exemple, et si nous appelons b_2 et a_2 les mêmes constantes

G. Wiedemann ; nouv. série, t. XIV, p. 279, 1881; traduit par MM. Duhem et de Brevans, dans les *Annales de Chimie et de Physique*, 5^e série, t. XXX, p. 433; 1883.

(¹) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. CI, p. 941; 1885.

(²) *Id.*, t. CX; 28 avril 1890.

pour un second gaz simple, nous aurons pour le premier gaz simple

$$p_1 = R_1 \frac{T}{v - b_1} - \frac{a_1}{v^2},$$

et pour le second

$$p_2 = R_2 \frac{T}{v - b_2} - \frac{a_2}{v^2},$$

en désignant par R_1 et R_2 les valeurs de R dans les deux cas, valeurs qui, en réalité, sont peu différentes, car M. Sarrau (¹) a trouvé :

Pour le gaz carbonique.	$\log R = 0,98692$
» l'azote.	$\log R = 0,96815$
» le formène.	$\log R = 0,97936$
» l'hydrogène.	$\log R = 0,97413$

Supposons maintenant les deux gaz simples considérés mélangés, et admettons que, quand le volume total occupé par le mélange est représenté par v , x soit la quantité du premier gaz contenu dans ce mélange; le second gaz y entre alors pour la quantité $1 - x$, de sorte que le mélange des deux gaz est fait dans le rapport $\frac{x}{1-x}$.

On peut admettre que, dans la compressibilité du mélange gazeux ainsi obtenu, chaque gaz intervient d'abord proportionnellement à sa masse dans le mélange, ce qui nous conduit à affecter chacune des constantes relatives à un gaz du facteur indiquant sa proportion dans le mélange.

Dans l'évaluation de la pression p du mélange, sous un volume v occupé d'ailleurs par chaque gaz, le premier gaz intervient donc par les deux termes

$$R_1 \frac{Tx}{v - b_1 x} - \frac{a_1 x^2}{v^2},$$

et le second gaz, d'une manière analogue, par

$$R_2 \frac{T(1-x)}{v - b_2(1-x)} - \frac{a_2(1-x)^2}{v^2}.$$

Mais, la pression p du mélange ne peut résulter simplement de l'addition de ces deux effets; car, s'il en était ainsi, la compressibilité du mélange serait,

(¹) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. XCIV, p. 639, 718, 845; 1882.

dans le système de coordonnées que nous avons adopté, linéaire comme celles des gaz simples constitutifs. Or, les résultats expérimentaux, consignés dans les Chapitres précédents, nous donnent des courbes, il est vrai, sensiblement rectilignes dans le voisinage de l'origine où elles vont toutes passer, mais d'allures hyperboliques.

Nous sommes ainsi amené à compléter la somme

$$R_1 \frac{Tx}{v - b_1 x} - \frac{a_1 x^2}{v^2} + R_2 \frac{T(1-x)}{v - b_2(1-x)} - \frac{a_2(1-x)^2}{v^2}$$

par l'adjonction d'un terme complémentaire destiné à tenir compte de la modification apportée à la compressibilité des gaz simples isolés par le fait de leur mélange. Ce terme complémentaire dépend évidemment des proportions des gaz mélangés, puisque l'expérience nous donne une loi différente, sinon dans son allure générale, du moins dans son amplitude, pour chacun des mélanges étudiés; il est, en outre, nécessairement fonction du volume gazeux. La forme la plus simple que nous puissions attribuer à ce terme complémentaire est donc

$$\frac{2Bx(1-x)}{v^2}.$$

Nous n'introduisons ainsi qu'une nouvelle constante B qui sera caractéristique des mélanges de deux gaz simples déterminés.

La formule complète relative aux mélanges de deux gaz et dérivant de celle de M. Van der Waals serait donc, d'après ce qui précède,

$$p = R_1 \frac{Tx}{v - b_1 x} - \frac{a_1 x^2}{v^2} + R_2 \frac{T(1-x)}{v - b_2(1-x)} - \frac{a_2(1-x)^2}{v^2} + \frac{2Bx(1-x)}{v^2},$$

et contiendrait une seule constante nouvelle B (¹).

Si nous admettons que la pression interne est à la fois fonction du volume

(¹) Cette manière d'obtenir la formule relative à un mélange par l'addition d'un terme complémentaire à ceux correspondant aux gaz isolés nous a été naturellement inspirée par la loi suivante, absolument analogue, due à M. Ph.-A. Guye : Le coefficient critique (rapport de la température critique absolue à la pression critique) qui, à un facteur constant près, le même pour tous les corps, est égal au pouvoir réfringent moléculaire, est aussi égal à la somme des coefficients critiques des atomes qui constituent sa molécule, augmentée, dans certains cas, de coefficients dépendant de la nature des liaisons des atomes entre eux [Archives des Sciences physiques et naturelles (Bibl. univ. de Genève), 3^e période, t. XXIII, p. 204; 1890 et Séances de la Société française de Physique, p. 39; 1890.]

et de la température, et si nous partons de la formule de Clausius écrite pour un gaz simple, sous la forme (III *bis*), nous sommes conduit à admettre pour un mélange, dans les conditions que nous venons d'examiner et pour les mêmes raisons, la formule plus complète

$$\begin{aligned} p = R_1 \frac{Tx}{v - \alpha_1 x} & - \frac{c_1 x^2}{T(v + \beta_1 x)^2} + R_2 \frac{T(1-x)}{v - \alpha_2(1-x)} \\ & - \frac{c_2(1-x)^2}{T[v + \beta_2(1-x)]^2} + \frac{2Bx(1-x)}{T(v + \beta_1 x)[v + \beta_2(1-x)]}, \end{aligned}$$

dans laquelle les lettres conservent toujours les mêmes significations.

D'une manière analogue, si nous prenions comme point de départ la formule (IV *bis*) de M. Sarrau, nous serions amenés à admettre, pour le mélange, la formule

$$\begin{aligned} p = R_1 \frac{Tx}{v - \alpha_1 x} & - \frac{k_1 \varepsilon_1^{-T} x^2}{(v + \beta_1 x)^2} + R_2 \frac{T(1-x)}{v - \alpha_2(1-x)} \\ & - \frac{k_2 \varepsilon_2^{-T}(1-x)^2}{[v + \beta_2(1-x)]^2} + \frac{2BE^{-T}x(1-x)}{(v + \beta_1 x)[v + \beta_2(1-x)]} \end{aligned}$$

où s'introduisent deux constantes nouvelles B et E.

Toutes ces formules rendent compte de la forme non linéaire des résultats. Dans les limites de nos expériences, il nous serait difficile de choisir entre les trois formules auxquelles nous arrivons, mais nous pouvons observer qu'au point de vue pratique ce choix est sans grande importance, puisque nous avons eu l'occasion de faire remarquer que les trois formules donnent, dans le cas des gaz simples, les mêmes résultats au point de vue des applications.

Nous remarquerons d'ailleurs que, pour p inférieur à 233^{em} de mercure, les formules, dans le cas d'un mélange de gaz carbonique et d'hydrogène, tel que

$$\frac{x}{1-x} = \frac{0,6166}{0,3834},$$

x étant relatif à l'hydrogène, doivent se réduire simplement à la loi des gaz parfaits

$$pv = RT.$$

On se demande naturellement pour quelles raisons la loi de compressibilité d'un gaz isolé se trouve ainsi compliquée dans un mélange. A ce propos,

nous observerons que nous ne savons rien de ce qui se passe entre les gaz mélangés, sous des pressions élevées, au point de vue chimique, par exemple, et qu'il ne nous est guère possible, dans les conditions actuelles, de nous en rendre compte, puisque nous sommes dans la nécessité de faire disparaître les circonstances du phénomène, en revenant dans chaque expérience aux conditions initiales.

Les attractions mutuelles des molécules gazeuses peuvent également être modifiées dans le mélange comprimé, et il est même possible que le verre du tube-laboratoire ne soit pas sans influence et ne détermine certains phénomènes de condensation.

Ce sont là de simples hypothèses que nous émettons; peut-être nous sera-t-il possible de faire, un jour, des essais destinés à fixer nos idées à cet égard.

RÉSUMÉ.

Dans le travail précédent, ayant pour but l'étude de l'élasticité de certains mélanges gazeux, nous avons :

1^o Imaginé un nouveau mode de représentation des expériences sur la compressibilité des gaz et appliqué cette méthode aux résultats de Regnault;

2^o Déterminé la loi de la compressibilité des mélanges d'air et de gaz carbonique;

3^o Résolu la même question pour les mélanges d'air et d'hydrogène;

4^o Étudié également, au même point de vue, les mélanges de gaz carbonique et d'hydrogène;

5^o Proposé une formule, dérivée de celle de M. Van der Waals, pour représenter les résultats précédents.

