

**Zeitschrift:** Archives des sciences physiques et naturelles  
**Herausgeber:** Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève  
**Band:** 2 (1920)  
  
**Artikel:** Recherches sur le potentiel disruptif dans l'anhydride carbonique aux pressions élevées  
**Autor:** Guye, C.-E. / Mercier, P.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-742535>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 05.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# RECHERCHES

SUR LE

## Potentiel disruptif dans l'anhydride carbonique

AUX PRESSIONS ÉLEVÉES

PAR

**C.-E. GUYE et P. MERCIER**

(Avec 2 pl. hors texte et 11 fig.).

---

### I. — INTRODUCTION.

Le potentiel disruptif dans l'acide carbonique aux pressions élevées a fait l'objet au Laboratoire de Physique de l'Université de Genève d'une première étude<sup>1</sup>. Ce travail avait conduit au résultat relativement simple que la loi de Paschen<sup>2</sup> sous sa forme générale  $V = f(md)$  était applicable dans des limites étendues à des gaz comprimés s'écartant notablement de la loi de Mariotte-Gay-Lussac ; résultat d'ailleurs conforme aux considérations théoriques qui sont à la base de la décharge disruptive.

Mais, comme les auteurs le faisaient remarquer dans leur mémoire, la précision des mesures, particulièrement aux courtes distances, était relativement faible et la nécessité de reprendre des mesures dans de meilleures conditions s'imposait pour eux, si l'on voulait déterminer exactement dans quelles limites la loi de Paschen est réellement applicable.

Le présent travail avait donc pour but de reprendre avec beaucoup plus de précision l'étude du potentiel disruptif dans l'acide carbonique comprimé et de rechercher en même temps, ainsi que la suggestion en avait été faite par l'un des auteurs,

<sup>1</sup> GUYE, C.-E. et STANCESCU, C. *Archives*, t. 43, février 1917.

<sup>2</sup> V potentiel explosif ; m densité du gaz ; d distance explosive.

si la polarisation du gaz aux fortes densités, ne serait pas de nature à créer un champ moléculaire susceptible de faciliter le passage de la décharge aux pressions élevées.

Le dispositif expérimental fut donc considérablement perfectionné dans ses diverses parties. La chambre à décharge fut construite de façon à permettre l'emploi d'électrodes de plus grandes dimensions et de formes différentes.

Des perfectionnements furent introduits pour assurer et vérifier le parallélisme des électrodes ainsi que la mesure et le contrôle de leur distance.

La mesure exacte des pressions nécessita l'emploi de manomètres à azote de grande sensibilité et la mesure de la densité de l'acide carbonique en fonction de la pression fit l'objet d'une étude particulière. L'isolement des lignes à haute tension fut amélioré et permit d'atteindre des potentiels disruptifs plus élevés.

Sans vouloir anticiper sur les conclusions de ce travail, nous pouvons dès maintenant dire que dans cette seconde série d'expériences, beaucoup plus précises, la loi de Paschen, ne s'est pas trouvée vérifiée dans des limites aussi étendues que dans le travail précédent. Mais cette seconde étude nous a révélé en outre surtout aux pressions élevées, l'existence d'un phénomène qui rend particulièrement délicate l'interprétation des résultats expérimentaux et sur lequel nous reviendrons en détail lors de la discussion et des conclusions de ce travail.

## II. — TRAVAUX ANTÉRIEURS EFFECTUÉS SUR LA DÉCHARGE DISRUPTIVE DANS LES GAZ COMPRIMÉS.

Les travaux concernant l'étude de la décharge disruptive dans les gaz comprimés sont peu nombreux ; nous donnons ici un bref résumé de ceux dont nous avons connaissance.

En 1889 M. Wolf<sup>1</sup> publie ses expériences dans l'hydrogène, l'oxygène, l'air, l'azote et l'anhydride carbonique jusqu'à la pression de dix atmosphères atteinte dans le cas de l'hydrogène seulement. Il employait des électrodes de 10 cm de diamètre,

<sup>1</sup> WOLF, M. *Wiedmann Annalen*, t. 37, p. 306, 1889.

en forme de boutons analogues à des calottes sphériques de grand rayon. La distance explosive était de 1 mm. La source d'électricité à haute tension était une machine à influence. Le potentiel, qui ne dépassa pas 19 000 volts, était mesuré au moyen d'un électromètre de Righi.

Il trouve une relation linéaire valable de 1 à 9 atmosphères entre le potentiel explosif  $V$  et la pression  $x$ ; cette relation est de la forme

$$V = ax + b$$

A. Hemptinne<sup>1</sup>, bien qu'opérant dans des conditions très différentes, trouve également une relation linéaire entre le potentiel explosif et la pression. Les expériences avaient lieu dans l'hydrogène, l'oxygène, l'azote et l'anhydride carbonique jusqu'à la pression de 50 atmosphères. Les électrodes étaient constituées par deux fils de platine de 0,2 mm de diamètre dont l'un était soudé à l'extrémité d'un tube laboratoire en verre et l'autre à angle droit un peu en dessous. Le tube était placé sur une cuve de Cailletet. La distance explosive était très faible.

Appareils utilisés: micromètre à étincelles de comparaison; bobine de Ruhmkorff.

C.-E. Guye et H. Guye<sup>2</sup> produisent la décharge également à l'intérieur d'un tube laboratoire placé sur une cuve de Cailletet entre deux électrodes de platine de 1 mm de diamètre. L'électrode supérieure est soudée à l'extrémité du tube, l'électrode inférieure est placée dans son prolongement; elle est assujétie au tube de verre, non loin de son extrémité supérieure, au moyen de cire à cacheter. La distance explosive était voisine de 0,18 mm. L'étude a porté sur l'azote, l'air, l'oxygène, l'hydrogène et l'anhydride carbonique. La pression maximum atteinte dans le cas de l'oxygène, l'air et l'azote était 86 atmosphères. Le potentiel n'a pas dépassé 19 500 volts.

Appareils employés: électromètre de Bichat et Blondlot; machine électrostatique de Töpler; manomètres à azote.

Les conclusions de ces auteurs sont les suivantes: entre les limites de 1 à 10 atmosphères environ, le potentiel explosif croît

<sup>1</sup> HEMPTINNE, A. *Bulletin des Sciences de l'Académie de Belgique*, 8, p. 603, 1902.

<sup>2</sup> GUYE, C.-E. et GUYE, H. *Arch.* 1905, juillet et août.



linéairement avec la pression ; pour les pressions plus élevées, le rapport du potentiel explosif à la pression va en diminuant.

L. Cassuto et A. Occhialini<sup>1</sup> font quelques expériences dans l'air comprimé jusqu'à 100 atmosphères. Ils emploient des électrodes de 4 cm de diamètre en forme de plateaux légèrement bombés. La distance explosive variait de 0,1 à 6,32 mm.

Appareils employés : machine de Holtz à deux plateaux ; électromètre de Righi, manomètre métallique.

Dans le but de voir si la loi de Paschen est vérifiée aux pressions élevées, ils opèrent à potentiel constant, faisant varier la distance des électrodes et la pression. Si  $a$  représente la distance des électrodes et  $d$  la densité de l'air, pour un même potentiel explosif le produit  $ad$  devrait être constant. Les auteurs concluent à la vérification de la loi de Paschen entre 1 et 100 atmosphères dans les limites des erreurs d'observation. Cependant, les écarts observés dans la seconde série paraissent déceler une variation systématique du produit  $ad$ .

G. Ceruti<sup>2</sup> effectue des expériences dans l'air comprimé jusqu'à 50 atmosphères. Les électrodes employées sont des sphères de 15 mm de diamètre, recouvertes d'une lame de platine. Il utilise également des électrodes de même diamètre en laiton doré. La distance explosive varia de 0,031 à 0,375 mm. Le potentiel limite atteint était 25 000 volts.

Appareils employés : électromètre du type de Righi, machine de Whimshurst à vingt plateaux.

Il trouve que le potentiel explosif croît plus rapidement que la pression. Les valeurs obtenues avec les électrodes en laiton sont plus faibles que celles obtenues pour les électrodes en platine.

Hayashi<sup>3</sup> opère dans l'air, l'anhydride carbonique, le gaz d'éclairage, l'oxygène, l'azote, l'hydrogène et dans des mélanges d'azote et d'hydrogène jusqu'à 75 atmosphères. Les électrodes sont des sphères de 1 cm de diamètre en magnésium ou en or 14 carats. Les distances explosives sont comprises entre 0,52 et 1,82 mm. Le potentiel limite atteint était 110 000 volts.

<sup>1</sup> CASSUTO, L. et OCCHIALINI, A. *Nuovo cimento*, (5), 14, p. 330, 1907.

<sup>2</sup> CERUTI, G. *R. Istituto Lombardo Rendiconti*, II, 42, p. 446, 1909.

<sup>3</sup> HAYASHI. *Annalen der Physik*, (4), t. 45, p. 431, 1914.

Appareils employés : micromètre à étincelles de comparaison ; bobine d'induction avec interrupteur pendulaire, ou bien machine statique ; condensateurs sous pression ; manomètre métallique.

Pour éviter le retard disruptif, les électrodes sont éclairées à l'aide d'une lampe à arc.

De 1 à 10 atmosphères il trouve que le potentiel explosif croît linéairement avec la pression. De 10 à 75 atmosphères le rapport du potentiel explosif à la pression va en diminuant et les courbes représentatives du potentiel explosif en fonction de la pression prennent une allure parabolique. Ces résultats sont analogues à ceux obtenus par C.-E. Guye et H. Guye<sup>1</sup>. Enfin la loi de Paschen n'est pas satisfaite pour les hautes pressions.

Pour un même potentiel disruptif les produits  $pd$ , soit pression par distance explosive, sont plus grands dans le cas des petites distances que dans celui des grandes distances explosives.

C.-E. Guye et C. Stancescu<sup>2</sup> étudient la décharge dans l'acide carbonique jusqu'à la pression de 53 atmosphères. Ils emploient des électrodes en or 14 carats de 14 mm de diamètre. Elles avaient la forme d'une coupe plate dont les bords incurvés étaient recouverts de cire à cacheter. Les distances explosives étaient comprises entre 0,34 et 2,24 mm. Le potentiel limite atteint était 35 000 volts.

Appareils employés : électromètre sous pression ; machine de Whimshurst à deux plateaux ; manomètres à azote.

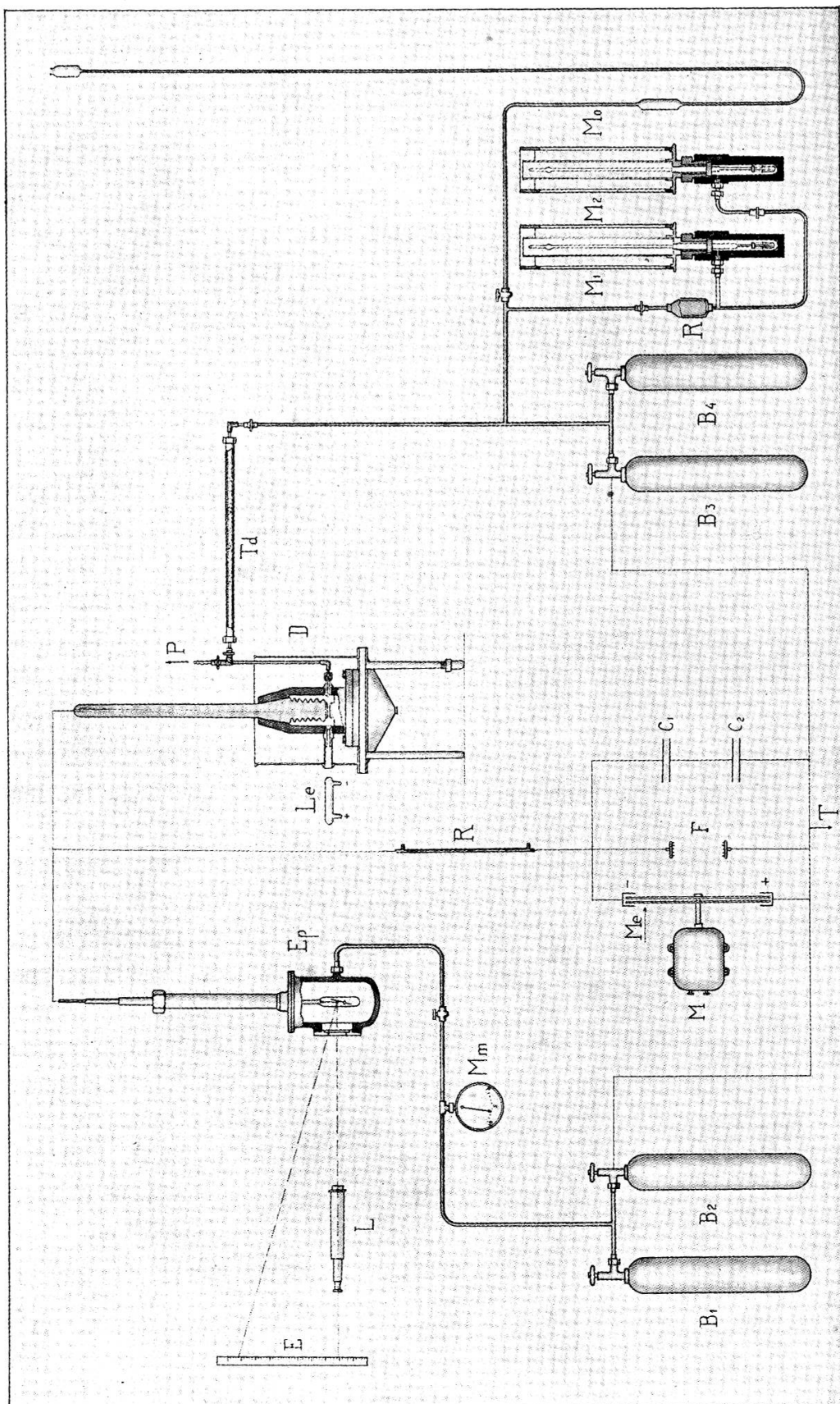
Ils trouvent que pour un même potentiel disruptif les produits  $pd$ , soit pression par distance explosive, sont plus petits dans le cas des petites distances que dans le cas des grandes distances explosives. Par contre, si l'on prend comme variable non pas la pression mais la densité du gaz, la loi de Paschen se trouve assez bien vérifiée par les expériences dans les limites de précision, d'ailleurs assez faible, où elles ont été effectuées.

Il est difficile de tirer une conclusion générale de ces divers résultats ; cependant si l'on met à part les expériences de G. Ceruti<sup>3</sup> effectuées sur des distances explosives plus petites, on

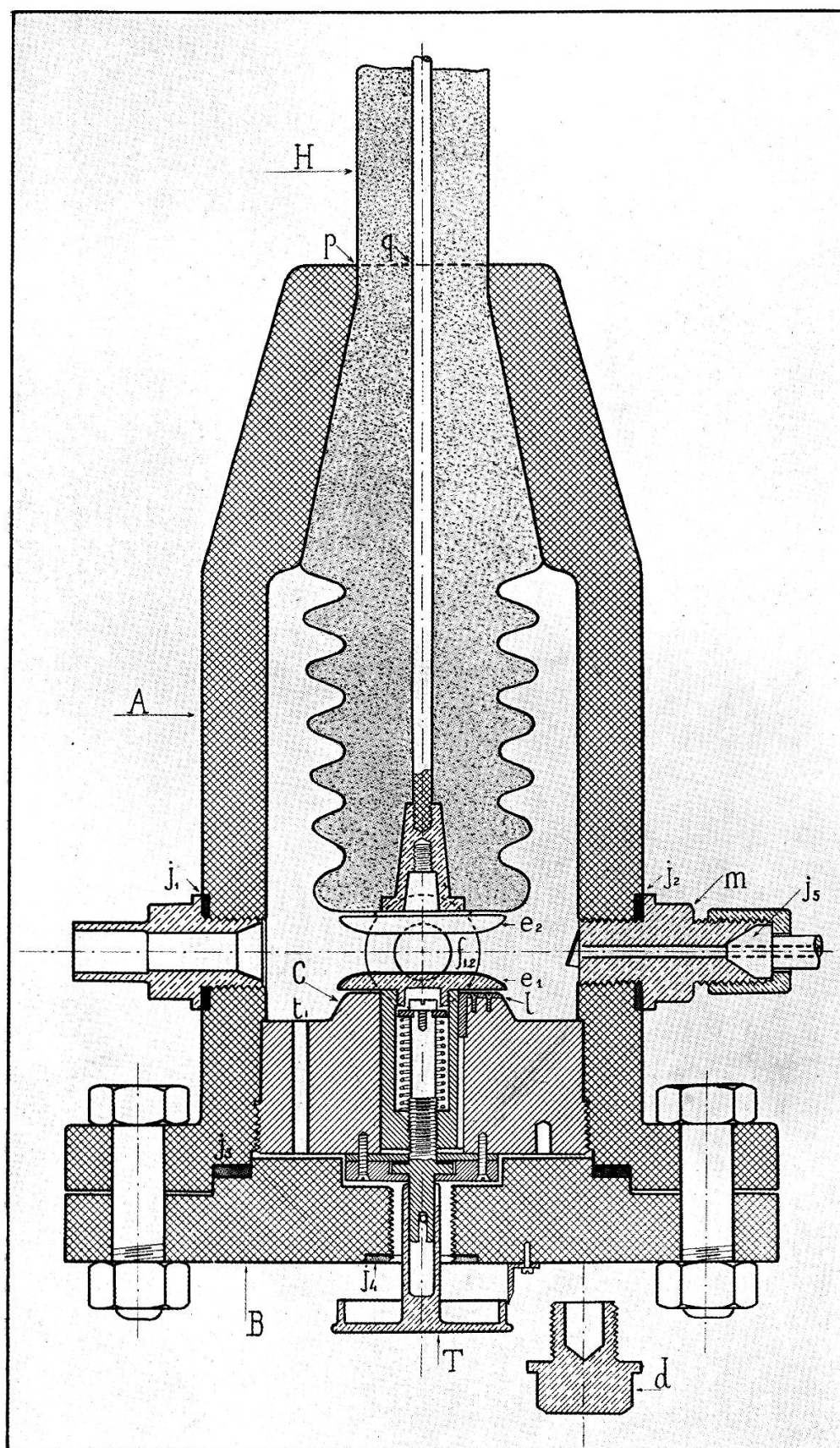
<sup>1</sup> GUYE, C.-E. et GUYE, H. *Loc. cit.*

<sup>2</sup> GUYE, C.-E. et STANCESCU. *Loc. cit.*

<sup>3</sup> CERUTI, G. *Loc. cit.*











peut dire que pour une même distance explosive, le potentiel disruptif augmente au début sensiblement linéairement avec la pression et qu'au delà de 10 atmosphères le rapport du potentiel explosif à la pression va en diminuant.

Les expériences nouvelles que nous avons entreprises étaient destinées à serrer de plus près le problème en augmentant la précision des mesures. Il s'agissait en particulier d'étudier plus spécialement le potentiel explosif en fonction de la pression et de la densité du gaz. Dans ce but nous avons opéré sur l'acide carbonique à 0° en déterminant au préalable la densité du gaz en fonction de la pression à cette température.

### III. — DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL.

Le dispositif expérimental que nous avons utilisé est représenté sur la Pl. I. Nous en décrivons ici les parties principales.

1. *Machine électrostatique.* — La tension nécessaire pour provoquer la décharge disruptive entre les électrodes dans le gaz comprimé était fournie par une machine de Whimshurst Me à deux plateaux actionnée par un moteur à courant continu M. Le pôle positif était relié à une conduite d'eau qui jouait le rôle de Terre; le négatif était relié d'une part à l'électromètre, de l'autre à l'appareil à décharge.

2. *Condensateurs.* — Les condensateurs semblables C<sub>1</sub> C<sub>2</sub> groupés en cascade servaient en quelque sorte de volant pour régulariser la tension fournie par la machine. La capacité totale de la cascade était de 0,001 microfarad environ.

3. *Réglage du potentiel.* — Il était nécessaire de pouvoir faire varier le potentiel d'une manière continue. A cet effet le porte-effluve F était intercalé entre le pôle négatif et la Terre. Il comprenait deux disques munis de balais mobiles dont on pouvait régler progressivement la distance au moyen d'une vis. Pour les mesures ne dépassant pas 20 000 volts on conservait tous les balais; au delà et jusqu'à 35 000 volts les balais du disque négatif étaient supprimés; pour les voltages plus élevés enfin tous les balais étaient enlevés de manière à pouvoir atteindre les plus hautes tensions de décharge.

4. *Résistance.* — Pour éviter la décharge directe des conden-

sateurs entre les électrodes, l'appareil à décharge D et l'électromètre E étaient précédés par une résistance réglable R (fig. 1).

Un fil de lin dont les extrémités étaient reliées à la ligne passait dans un tube capillaire de 1,2 mm de diamètre intérieur et de 50 cm de longueur. Près des bouts étaient soudés deux petits tubes latéraux. L'un pouvait être relié facilement à une trompe, tandis que par l'autre on aspirait quelques gouttes d'eau destinées à humecter le fil. On desséchait ensuite progressivement le tube par aspiration jusqu'à ce que la résistance présentât une valeur convenable. Ce degré pouvait être apprécié au moyen de l'électromètre en observant la vitesse avec laquelle montait le potentiel après chaque décharge.

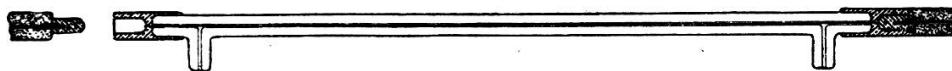


Fig. 1.

5. *Electromètre.* — L'électromètre Ep est celui utilisé par MM. C.-E. Guye et Stancescu<sup>1</sup> dans de précédentes mesures. Cet appareil ayant été décrit en détail dans le dit travail, nous nous bornerons à rappeler que l'électromètre sous pression imaginé par M. C.-E. Guye et étudié en collaboration avec M. A. Tcherniawski<sup>2</sup> convient particulièrement bien aux mesures des potentiels élevés. Il est basé sur la répulsion qu'exercent l'un sur l'autre deux plans électrisés portés au même potentiel. Dans le modèle utilisé une aiguille d'aluminium mobile autour d'un axe passant par son centre de gravité et portant un miroir est repoussée par un plan fixe. La répulsion électrostatique est équilibrée par une surcharge  $p$  placée sur l'aiguille mobile à une distance  $d$  de l'axe. Pour une même déviation  $\alpha$  et deux poids différents mais ayant le même centre de gravité, les potentiels mesurés sont entre eux comme la racine carrée des poids correspondants.

$$\frac{V_1}{V_2} = \sqrt{\frac{p_1}{p_2}}.$$

Pour une déviation donnée, connaissant la valeur  $V_1$  du poten-

<sup>1</sup> GUYE, C.-E. et STANCESCU. *Loc. cit.*

<sup>2</sup> GUYE, C.-E. et TCHERNIAWSKI, A. *Arch.* 1913, juin.



tiel pour un certain poids  $p_1$  on peut au moyen de cette formule calculer le potentiel  $V_2$  pour tout autre poids  $p_2$ .

Nous avons étalonné l'appareil par comparaison avec un électromètre de Bichat et Blondlot, l'aiguille étant chargée avec un poids de 1 gramme. La lecture des déviations s'est faite par la méthode de Poggendorf, l'échelle verticale étant placée à une distance de 1,25 m du miroir. La déviation maximum de l'aiguille était de 9 degrés. Le tableau suivant donne le résultat de cet étalonnage.

TABLE 1.

El. Bichat et Blondlot grammes	Electrom. sous pression		El. Bichat et Blondlot grammes	Electrom. sous pression	
	Divisions	Volts		Divisions	Volts
0,00	100	0	0,5	205	12865
0,01	101,5	1820	0,6	238	14095
0,05	108,5	4065	0,7	278	15220
0,1	117,5	5750	0,8	328	16275
0,2	132	8135	0,9	377	17260
0,3	150	9965	1	441	18195
0,4	177	11505	1.05	489	18645

La pression dans l'appareil est réglée au moyen des bonbonnes d'acide carbonique  $B_1$  et  $B_2$ . La bonbonne  $B_1$  remplie de gaz comprimé est détendue dans la bonbonne réservoir  $B_2$ . Lorsque la pression de 6 atmosphères marquée par le manomètre métallique Mm est atteinte,  $B_1$  est refermé et  $B_2$  reste seule en communication avec l'électromètre.

#### 6. *Chambre à décharge*, Pl. II.

L'appareil<sup>1</sup> comprend quatre parties principales : 1° Un manchon cylindroconique A muni d'une embase. 2° Une plaque de fermeture amovible B retenue par douze boulons ; ces deux pièces sont en fonte d'acier et calculées pour résister à une pression supérieure à 100 atmosphères. 3° Une pièce C en fonte de fer portant l'électrode inférieure  $e_1$  et le mécanisme permettant son déplacement. 4° La pièce isolante H portant l'électrode supérieure  $e_2$  et engagée dans l'ouverture tronconique du manchon

<sup>1</sup> Appareil construit à Genève par les soins de MM. Thury et Amey, mécaniciens.

A. Le manchon A, dont le diamètre intérieur est de 82 mm et l'épaisseur de parois de 17 mm dans la partie cylindrique, est percé dans la région qui se trouve vis-à-vis des électrodes de quatre ouvertures. Deux fenêtres circulaires  $f_1 f_2$ , de 15 mm de diamètre utile, sont destinées à l'observation. Ces fenêtres sont munies de glaces de 30 mm de diamètre et de 5 mm d'épaisseur; elles sont mastiquées avec soin à chaud avec de la gomme laque contenant en dissolution un peu d'alcool. A angle droit, au même niveau, se trouvent deux ouvertures filetées. Sur l'une d'elles se visse le manchon  $m$  par lequel entre le gaz sous pression, sur l'autre un regard muni d'une fenêtre tronconique en quartz. Le diamètre utile de la fenêtre est de 10 mm, son épaisseur de 7 mm. La pièce C, qui peut être dévissée au moyen d'une clef à tenons pénétrant dans les trous  $t_1 t_2$ , vient buter contre une portée tournée avec soin et forme ainsi bloc avec le manchon A. Le trou  $t_1$  prolongé établit rapidement un équilibre de pression dans toutes les parties internes de l'appareil.

L'électrode inférieure  $e_1$  vissée sur son écrou est seule mobile. Une vis micrométrique dont le pas est 1 mm permet de donner à l'écrou, guidé par la languette  $l$ , un mouvement de translation vertical. Un tambour T divisé en 100 parties permet la mesure des déplacements en centièmes de mm. Un ressort, toujours comprimé, pousse l'écrou portant l'électrode inférieure contre la partie supérieure du filet de la vis micrométrique. L'incertitude provenant du jeu de l'écrou est ainsi en grande partie supprimée. Une fois la distance des électrodes réglée, le tambour T est retiré et le bouchon fileté en bronze  $d$  est vissé au centre de la plaque de fermeture.

L'appareil est ainsi prêt à recevoir du gaz sous pression. Le volume intérieur libre est alors de 430 cc environ. Les joints  $j_1, j_2, j_3, j_4$  sont en plomb. Le joint  $j_3$  est constitué par un disque de plomb malléable adhérent à la plaque de fermeture; lorsque les boulons sont serrés, ce disque se trouve encastré entre les portées des pièces A et B et fournit un joint excellent. Le joint  $j_5$  est à cône métallique.

La pièce isolante H devait satisfaire à plusieurs conditions difficiles à réaliser: 1° Résistance du diélectrique à la rupture suffisante pour supporter une différence de potentiel de 100 000

volts entre les points  $p$  et  $q$ . 2° Faible conductibilité superficielle de manière à réduire autant que possible les pertes d'isolation pouvant se produire de l'électrode supérieure à la masse de l'appareil qui est relié à la Terre. 3° Matière suffisamment compacte pour éviter les fuites de gaz. 4° Grande résistance mécanique de manière à pouvoir résister sans déformation importante à des pressions de 50 atmosphères.

Une pièce en porcelaine aurait satisfait pleinement aux conditions 3 et 4 et d'une manière suffisante aux deux premières. Les difficultés d'exécution nous ont empêché de la réaliser. Nous avons choisi par conséquent un isolant à la gomme laque, la haefelyte, présentant une grande résistance mécanique et une rigidité diélectrique remarquable<sup>1</sup>. Cet isolant résiste dans tous les cas à des tensions de 10 000 volts par mm et présente l'avantage de pouvoir être tourné aisément. La partie centrale est constituée par une tige en acier enrobée dans la matière, servant de conducteur et augmentant la rigidité mécanique. Un cône en laiton vissé à l'extrémité inférieure empêchait les fuites de gaz le long de la tige. L'électrode supérieure est vissée à sa base. Dans le but d'améliorer l'isolation, la ligne méridienne de la pièce isolante à l'intérieur de la chambre à décharge est ondulée, ce qui porte sa longueur à 16 cm.

La fixation de la pièce isolante dans le manchon A s'est effectuée au moyen d'une presse, la surface conique ayant été enduite au préalable avec une solution de gomme laque. Le gaz a été introduit ensuite dans l'appareil en élevant progressivement la pression jusqu'à 40 atmosphères. La pièce a subi de ce fait un tassement définitif de quelques dixièmes de mm.

L'appareil repose sur un support en fonte évidé et muni de quatre pieds dont un réglable. Les expériences se faisant à la température de 0° il était nécessaire de plonger l'appareil tout entier dans la glace. Le dispositif adopté est visible sur la Pl. I. La glace est maintenue par un cylindre en zinc et peut s'écouler par les vides de la plate-forme dans un cône inférieur qui est muni d'une vidange. Le cylindre et le cône sont fixés à la plate-forme au moyen de pinces. Des tubes de laiton traversant le

<sup>1</sup> Pièce fournie gracieusement par la maison Haefely de Bâle.

cylindre en zinc viennent s'adapter exactement sur chacune des deux fenêtres d'observation et sur le regard muni de la fenêtre en quartz.

7. *Lignes électriques.* — Toutes les lignes étaient aériennes et formées de câble fortement isolé au caoutchouc suspendu à des isolateurs en verre gommelaqué. Les raccords étaient constitués par des douilles et pistons métalliques entrant exactement l'un dans l'autre et recouverts de glu marine de manière à éviter complètement les effluves.

8. *Tube dessiccateur.* — L'acide carbonique du commerce contenant toujours un peu d'humidité, nous l'avons fait passer dans un tube d'acier de 80 cm de longueur contenant du chlorure de calcium. L'extrémité du côté de la chambre à décharge était garnie de coton pour éviter l'entraînement de poussières.

9. *Mesure de la pression.* — Pl. I. Comme dans les travaux antérieurs exécutés au laboratoire, nous avons eu recours pour la mesure exacte des pressions aux manomètres à azote construits d'après les indications données par Amagat<sup>1</sup>.

Nous avons utilisé en outre pour les pressions comprises entre 1 et 4 atmosphères un manomètre  $M_0$  à air libre en verre. Avec ce dernier appareil la pression exprimée en mètres de mercure à 0° régnant dans la canalisation et l'appareil à décharge s'obtient en ajoutant à la pression barométrique exprimée en mètres de mercure la différence de hauteur exprimée en mètres et ramené à 0° des niveaux du mercure dans les deux branches du manomètre.

La sensibilité des manomètres à azote diminuant rapidement à mesure que la pression augmente, nous en avons employé deux pour franchir l'intervalle compris entre 3,5 et 35 atmosphères. Le manomètre  $M_I$  a servi pour la mesure des pressions de 3,5 à 15 atmosphères et le manomètre  $M_{II}$  de 9 à 35 atmosphères. Il était ainsi possible de vérifier l'exactitude du manomètre  $M_I$  dans la région comprise entre 3,5 et 4 atmosphères au moyen du manomètre à air libre et d'observer la concordance des indications des manomètres  $M_I$  et  $M_{II}$  dans leur région commune d'utilisation comprise entre 9 et 15 atmosphères.

Il y a lieu d'observer que, par suite de la position verticale des

<sup>1</sup> *Annales de Chimie et de Physique*, t. 19, 1880 ; t. 22, 1881 ; t. 28, 1883.

manomètres, la pression de l'azote à l'intérieur de ceux-ci est inférieure à celle du gaz dans la canalisation. Si l'on exprime les pressions en mètres de mercure, la pression à l'intérieur de la canalisation s'obtient en ajoutant à la pression de l'azote calculée d'après les tables d'Amagat la différence de hauteur des niveaux du mercure dans la colonne manométrique et dans le réservoir R.

En tenant compte de ces corrections nous avons trouvé une bonne concordance entre les indications des trois manomètres. Nous donnons plus loin quelques indications sur la construction, le calcul et le remplissage des manomètres à azote.

Nos manomètres à gaz comprimé (fig. 2), comprennent trois parties principales : 1° Un réservoir inférieur *r* terminé par un tube. 2° Au réservoir est soudé un tube capillaire gradué sur une longueur de 50 cm, de mm en mm. 3° Le tube capillaire est fermé environ 10 cm plus loin. Cette extrémité peut comporter un renflement *b* destiné à en augmenter le volume.

Il est aisé de voir que si l'on se donne d'avance la pression du gaz quand le mercure atteint la division 0 et la division 50, on peut en déduire le volume de l'extrémité et le volume total du manomètre. Un calcul approximatif basé sur la loi de Mariotte permet d'en fixer les dimensions approchées<sup>1</sup>. Une fois construits,

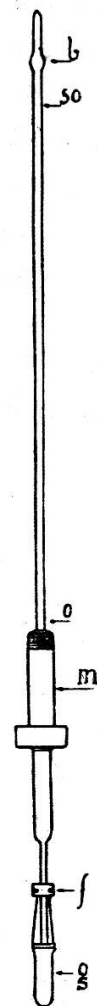


Fig. 2.

<sup>1</sup> Soit  $p_1$  la pression du gaz lorsque le mercure atteint la division 0 et  $p_2$  la pression correspondant à la division 50.

Soit  $v$  le volume connu de la partie graduée et  $x$  le volume inconnu de l'extrémité. Nous avons en appliquant la loi de Mariotte

$$p_1(v + x) = p_2x$$

d'où

$$x = \frac{p_1}{p_2 - p_1} v_1.$$

Soit  $y$  le volume total inconnu du manomètre et  $p_0$  la pression de remplissage. Nous avons encore

$$p_0y = p_2x$$

d'où

$$y = \frac{p_2}{p_0} x.$$

ces manomètres ont été nettoyés avec de l'acide nitrique, puis rincés à l'eau distillée. On les a desséchés en employant de l'alcool et finalement de l'éther préalablement desséché en employant du sodium.

Nous les avons calibrés ensuite avec du mercure en tenant compte de la température. Le mercure employé dans les calibrages a été soigneusement lavé à l'acide nitrique dilué, dégraissé à la potasse caustique, rincé à l'eau distillée, desséché à 130° et filtré.

Les résultats relatifs au calibrage figurent dans les tableaux suivants :

Manomètre I.

		mm <sup>3</sup>
De l'extrémité au repère initial	Volume	3044,0
» à la division 0	»	920,1
» » 0,57	»	911,7
» » 5,53	»	838,2
» » 10,50	»	765,2
» » 15,44	»	693,3
» » 20,41	»	621,7
» » 25,325	»	551,1
» » 30,39	»	479,0
» » 35,35	»	408,2
» » 40,21	»	338,9
» » 45,04	»	270,2
» » 49,85	»	202,4
» » 50	»	200,4

Manomètre II.

		mm <sup>3</sup>
De l'extrémité au repère initial	Volume	9058,0
» à la division 0,07	»	926,5
» » 5,84	»	846,0
» » 10,67	»	779,0
» » 15,57	»	711,7
» » 20,90	»	638,6
» » 25,94	»	569,6
» » 31,00	»	500,2
» » 35,67	»	436,4
» » 40,50	»	369,8
» » 45,36	»	302,6
» » 50,00	»	238,0



*Remplissage des manomètres.* — Les manomètres, une fois calibrés, ont été fixés au moyen de cuirs et de glu marine dans les manchons en laiton  $m$  et soudés à l'installation génératrice d'azote entièrement construite en verre.

L'azote était préparé par la méthode classique utilisée par Amagat, consistant à faire passer un lent courant d'air sur de la tournure de cuivre dans un tube à combustion chauffé au rouge. L'air est au préalable desséché sur de l'acide sulfurique concentré. L'acide carbonique est absorbé par une solution concentrée de potasse caustique. Au delà du tube à combustion, l'azote passait encore dans un tube dessiccateur contenant du pentoxyde de phosphore et dans un second tube contenant des pastilles de potasse caustique.

Après avoir laissé l'azote se dégager pendant un certain temps on isolait, au moyen d'un robinet, le tube à combustion de la canalisation comprenant le manomètre. On faisait ensuite le vide dans cette partie au moyen d'une pompe de Gaede, puis on laissait rentrer l'azote lentement par le robinet, en surveillant l'opération au moyen d'un manomètre. En répétant trois fois cette manœuvre, on était assuré d'avoir un gaz pur.

Le tube adducteur du manomètre est ensuite cassé sous le mercure à l'endroit d'un étranglement prévu. Comme on a laissé subsister une certaine dépression dans la canalisation, le mercure monte légèrement d'une hauteur  $h$  dans le tube adducteur au-dessus du niveau extérieur. A ce moment on note le volume occupé par le gaz et la température. La pression du gaz s'obtient en retranchant de la hauteur barométrique la hauteur  $h$ .

On introduit ensuite sous le tube adducteur un godet  $g$  rempli de mercure. Ce godet est ensuite suspendu à une bague de serrage en fer doux  $f$  disposée à l'avance sur le tube adducteur. Le manomètre peut être alors placé sur la cuve Cailletet ou bien être conservé indéfiniment dans une armoire jusqu'au moment de l'emploi. En effet les variations de la pression atmosphérique et de la température sont insuffisantes pour provoquer soit une sortie d'azote, soit une rentrée d'air.

*Calcul de la pression.* — Le calcul de la pression correspondant aux divisions repérées s'effectue de la manière sui-

vante<sup>1</sup> dans le cas d'un manomètre chargé et observé à 16° centigrades.

On calcule pour chaque division repérée le volume  $V$  occupé par le gaz comprimé, lorsque le mercure atteint cette division, exprimé en prenant pour unité le volume du même gaz à 16° sous la pression d'une atmosphère.

Soit  $V'$  le volume du gaz enfermé dans le manomètre à 16° sous la pression de  $H$  mm de mercure. Le volume occupé à la pression de 760 mm sera

$$\frac{V'H}{760}$$

Soit  $V''$  le volume occupé par le gaz dans le manomètre à 16° sous la pression  $x$  on a donc

$$V = \frac{V''}{V'} \cdot \frac{760}{H}$$

A chaque valeur  $V$  correspond une pression  $P$  en atmosphères qui peut être déduite de la table suivante. Il suffit pour cela de construire une courbe  $P = f(V)$ . Les chiffres en caractères gras sont tirés directement du Recueil de Constantes physiques, les autres sont calculés par interpolation.

TABLE 2.

P. atm.	V	P	V	P	V
1	<b>1,00000</b>	13	0,07663	25	<b>0 03973</b>
2	0,49985	14	0,07114	26	0,03820
3	0,33312	15	<b>0,06638</b>	27	0,03677
4	0,24976	16	0,06222	28	0,03545
5	<b>0,19974</b>	17	0,05854	29	0,03423
6	0,16640	18	0,05527	30	<b>0,03308</b>
7	0,14258	19	0,05235	31	0,03197
8	0,12472	20	<b>0,04972</b>	32	0,03100
9	0,11083	21	0,04734	33	0,03001
10	<b>0,09971</b>	22	0,04518	34	0,02917
11	0,09062	23	0 04320	35	<b>0,02833</b>
12	0,08305	24	0,04139	36	0,02754

<sup>1</sup> Recueil de Constantes, Société française de Physique, 57a.



Nous avons pu ainsi construire les courbes manométriques donnant directement la pression en fonction des divisions des manomètres.

Le remplissage ayant eu lieu à  $16^{\circ}$  et les observations à la même température il n'y avait point de correction à faire. La température de  $16^{\circ}$  pendant les observations était celle de la colonne d'eau entourant chaque manomètre. Nous avons dû simplement effectuer une fois pour toutes, la correction indiquée au début de ce chapitre pour avoir la pression exacte dans la canalisation.

Notons enfin que le mercure utilisé dans les cuves Cailletet était purifié au préalable dans l'appareil Margot<sup>1</sup> basé sur l'oxydation des poussières et métaux étrangers par barbotage d'air. Le mercure n'était pas en contact direct avec la cuve métallique, mais contenu dans un tube de verre. Comme nous n'avons pas dépassé des pressions de 35 atmosphères, nous avons pu nous passer d'huile ou de glycérine généralement utilisées pour assurer l'étanchéité des joints. Le mercure contenu dans le réservoir auxiliaire R empêchait le gaz comprimé de pénétrer dans les cuves. Grâce à ces précautions le mercure est resté propre pendant les expériences.

#### IV. — MESURE DE LA DENSITÉ DE L'ACIDE CARBONIQUE.

Le but que nous nous étions proposé exigeait la connaissance exacte de la densité de l'anhydride carbonique à  $0^{\circ}$  pour toutes les pressions comprises entre la pression atmosphérique et la pression de liquéfaction. Il s'agit en effet de vérifier si la loi de Paschen mise sous la forme  $V = f(md)$  peut convenir pour représenter le phénomène de la décharge disruptive aux pressions supérieures à la pression atmosphérique. Dans cette expression  $V$  est le potentiel explosif,  $m$  est proportionnel à la masse, soit au nombre de molécules par unité de volume, et  $d$  est la distance des électrodes.

Soient  $n$  molécules de gaz occupant un volume  $v_0$  à la pression de 760 mm de mercure et à la température de  $0^{\circ}$ . Si nous comprimons ces  $n$  molécules à la pression  $p_1$  elles occuperont

<sup>1</sup> Arch. 1914, juillet.

un volume  $v_1$  à  $0^\circ$ . Le rapport  $\frac{v_0}{v_1}$  que nous appellerons  $\delta$  est égal à la densité du gaz à la pression  $p_1$  et à  $0^\circ$  si l'on prend pour unité la densité du gaz à la pression de 760 mm de mercure et à  $0^\circ$ . La densité absolue  $m$  s'obtiendrait en multipliant la densité absolue du gaz à  $0^\circ$  et 760 mm de mercure par le facteur  $\delta$ . Il est donc légitime de remplacer dans l'expression de la loi de Paschen le facteur  $m$  par le facteur  $\delta$  qui n'en diffère que par une constante multiplicative. Le problème se ramène ainsi à de simples mesures de volume et de pression.

L'acide carbonique que nous avons utilisé dans les expériences était fourni en bonbonnes de 20 kilos par la Carbonique suisse S. A. Il contenait encore un peu d'humidité et l'absorption par la potasse révélait un résidu gazeux non absorbé de 0,5 % environ.

Il s'agissait de déterminer expérimentalement la fonction  $\delta = f(p)$  relative à ce gaz. Dans ce but, nous avons construit trois manomètres M', M'', M''' analogues aux manomètres à azote que nous avons remplis avec l'acide carbonique provenant de la bonbonne. Les précautions prises pour le remplissage sont analogues à celles décrites précédemment dans le cas des manomètres à azote. Le gaz enfermé dans les manomètres ne différait de l'acide carbonique de la bonbonne que par l'absence d'humidité. Cette humidité était absorbée en faisant passer le gaz sur du pentoxyde de phosphore. Nous donnons plus loin le résultat du calibrage de ces manomètres.

Manomètre M'. CO<sup>2</sup> faibles pressions.

De l'extrémité à l'index initial			mm <sup>3</sup>	
	à la division		Volume	
»	0,00	»	2067,5	
»	1,90	»	1114,2	
»	2,10	»	1079,6	
»	6,14	»	1076,0	
»	12,73	»	1002,7	
»	17,41	»	883,4	
»	22,58	»	799,1	
»	27,60	»	705,6	
»	32,40	»	614,6	
»	37,31	»	527,6	
»	41,26	»	438,7	
»	45,83	»	367,5	
»	50,00	»	285,8	
		»	210,6	

Volume de remplissage ramené à  $0^\circ$  et à la pression de 760 mm de mercure,  $v = 1776 \text{ mm}^3$ .

Manomètre M'' CO<sup>2</sup> moyennes pressions.

		mm <sup>3</sup>
De l'extrémité à l'index initial	Volume	6604,6
» à la division 0,22	»	801,9
» » 5,37	»	728,4
» » 10,40	»	655,8
» » 15,38	»	584,1
» » 20,82	»	506,9
» » 26,39	»	428,4
» » 31,24	»	360,3
» » 37,07	»	279,2
» » 42,27	»	207,6
» » 48,01	»	129,2
» » 52,59	»	65,7

Volume de remplissage ramené à 0° et 760 mm Hg.  $v = 5934 \text{ mm}^3$ .

 Manomètre M''' CO<sup>2</sup> hautes pressions.

		mm <sup>3</sup>
De l'extrémité à l'index initial	Volume	26192,0
» à la division 1,09	»	961,3
» » 6,04	»	900,9
» » 10,50	»	846,2
» » 15,71	»	781,8
» » 20,70	»	720,4
» » 25,71	»	658,5
» » 30,6	»	598,0
» » 35,8	»	533,9
» » 41,11	»	468,8
» » 45,17	»	419,3
» » 50,08	»	359,6

Volume de remplissage ramené à 0° et 760 mm de Hg 22607 mm<sup>3</sup>.

Ces manomètres ont été placés successivement sur l'une des deux cuves à mercure, tandis que sur l'autre se trouvait l'un des deux manomètres à azote, M<sub>I</sub> ou M<sub>II</sub>.

On observait donc simultanément pour une pression  $p$  dans la canalisation un manomètre à acide carbonique et un manomètre à azote.

Le premier était observé à la température de 0°, le second à 16°. Comme l'on connaît la pression de l'azote dans le manomètre à azote, il est facile d'en déduire la pression de l'acide carbonique dans le manomètre à acide carbonique en tenant compte de la différence de niveau du mercure dans les deux colonnes manométriques.

Chaque manomètre étant calibré, on connaît également le

volume occupé par le gaz à cette pression  $p$ . Nous sommes ainsi en mesure de calculer la densité  $\delta$  de l'acide carbonique à la pression  $p$  rapportée à la densité de ce gaz à  $0^\circ$  et 760 mm de mercure prise pour unité. En répétant cette mesure pour différentes valeurs de  $p$  nous avons établi la courbe  $\delta = f(p)$ , densité en fonction de la pression (fig. 3).

La température de  $0^\circ$  de l'acide carbonique était obtenue en faisant circuler un lent courant d'eau salée à  $0^\circ$  autour de la

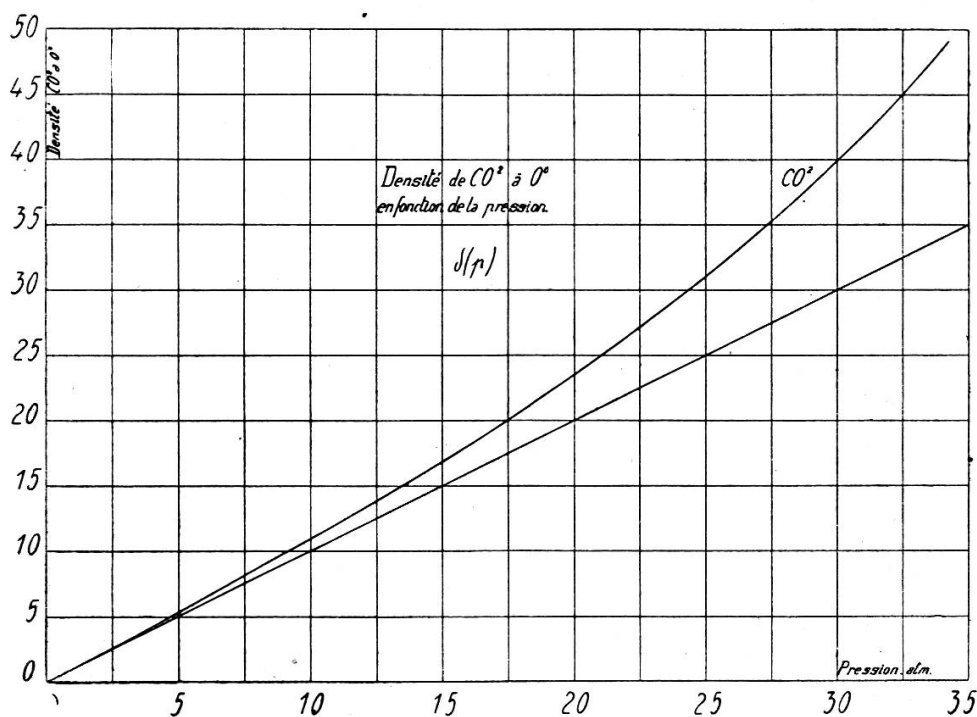


Fig. 3.

colonne manométrique. La température du bain était mesurée au moyen d'un thermomètre divisé en cinquièmes de degré. Un agitateur uniformisait la température.

Les mesures dans le voisinage du point de liquéfaction étaient particulièrement délicates étant donné la variation rapide de la densité avec la pression à ce moment-là. Nous avons trouvé pour le début de la liquéfaction (point de rosée) la pression de 34,28 atmosphères, la densité  $\delta = 49,1$  et pour le produit  $pv$  0,698 ; chiffres qui concordent sensiblement avec ceux donnés par Amagat pour ce gaz.

Nous donnons ci-dessous la table des densités en fonction

de la pression déduite de nos résultats. Comme nous avons exprimé la pression indifféremment en mètres de mercure ou en atmosphères, nous en profitons pour indiquer ici la correspondance des deux notations.

TABLE 3.

Densités  $\delta$  de  $\text{CO}_2$  en fonction de la pression  $p$  à  $0^\circ$ .

p. atm	p. m. Hg	$\delta$	p. atm.	p. m. Hg	$\delta$
1	0,76	1,00	19	14,44	22,11
2	1,52	2,07	20	15,20	23,50
3	2,28	3,15	21	15,96	24,91
4	3,04	4,30	22	16,72	26,40
5	3,80	5,40	23	17,48	27,95
6	4,56	6,53	24	18,24	29,48
7	5,32	7,61	25	19,00	31,05
8	6,08	8,71	26	19,76	32,72
9	6,84	9,82	27	20,52	34,45
10	7,60	10,95	28	21,28	36,22
11	8,36	12,08	29	22,04	38,05
12	9,12	13,23	30	22,80	39,95
13	9,88	14,45	31	23,56	41,95
14	10,64	15,65	32	24,32	44,00
15	11,40	16,88	33	25,08	46,20
16	12,16	18,10	34	25,84	48,55
17	12,92	19,39	34,28	26,05	49,10
18	13,68	20,75			

La droite représente ce que serait la densité du gaz si l'acide carbonique suivait la loi de Mariotte.

Notons enfin que les manomètres à acide carbonique ont été comparés également à  $16^\circ$  aux manomètres à azote. Ils pouvaient par conséquent remplacer les manomètres à azote en cas d'accident.

(A suivre.)