

Reprinted from "Advances in Vacuum Science and Technology, Vol. 1"

PERGAMON PRESS  
LONDON · OXFORD · NEW YORK · PARIS  
1960

## La Technique du Vide et des Hautes Pressions

par L. DEFFET, DR.

*Directeur de l'Institut Belge des Hautes Pressions*

et E. THOMAS, DR., ING.

*Professeur à l'Ecole Royale Militaire*

(Bruxelles)

*On rappelle d'abord brièvement l'origine de la technique des hautes pressions et de la technique du vide.*

*On met ensuite en évidence quelques similitudes entre ces deux techniques et l'on recherche si les moyens et les méthodes utilisés pour l'obtention et le maintien des vides élevés ne pourraient être appliqués davantage aux hautes pressions et vice-versa.*

SI L'ON recherche les origines des travaux sur le vide et la pression à partir de l'ère des recherches expérimentales, on s'aperçoit que c'est presque en même temps que sont énoncés les principes qui régissent, encore actuellement, les connaissances fondamentales dans ces deux domaines dont la séparation est nette, puisque fixée par la pression atmosphérique.

La notion de l'horreur du vide, que même Galilée admettait, fut combattue par Torricelli d'une part, dont les expériences concluantes furent réalisées en 1643 et d'autre part par Otto de Guericke en 1654, par la démonstration des hémisphères de Magdebourg; on peut donc admettre comme début des recherches sur la technique du vide, la première moitié du 17<sup>e</sup> siècle.

L'expérience d'Archimède est peut-être à la base de la technique des hautes pressions, et il est même à supposer que les Romains et peut-être les Grecs utilisèrent la pression des fluides, sans en dégager la notion; il faut cependant attendre les expériences de Pascal, également de la première moitié du 17<sup>e</sup> siècle, pour que le principe même de pression fût admis.

Ce préambule montre que les deux techniques de pressions inférieures et supérieures à la pression atmosphérique prirent leur essor à la même époque. Nous n'en décrivons pas les évolutions qui montreraient d'ailleurs combien celles-ci furent parallèles: mais sans doute pourrait-on en faire la preuve pour la plupart des techniques.

L'objet de notre examen est plutôt de dégager les similitudes de ces deux techniques et d'en déterminer les raisons, mais surtout de rechercher si les moyens et les méthodes utilisés pour l'obtention et le maintien des vides élevés ne pourraient être appliqués aux hautes pressions et vice-versa.

Nous voudrions examiner, par le choix de quelques exemples, si l'attention des chercheurs a suffisamment été attirée sur cette similitude et si les méthodes éprouvées dans chacune des techniques ont été l'objet d'essais d'application dans l'autre: a priori et sauf quelques cas particuliers, nous pensons que rares sont les exemples où l'expérience acquise a été profitable.

La pression atmosphérique qui délimite les notions et les techniques du "vide" et de la "pression" n'est pas aussi arbitraire qu'on pourrait l'imaginer à première vue. En effet, si elle est arbitraire au sens de la physique, il faut bien admettre que les techniques diffèrent essentiellement du fait que pour les récipients à haute pression, le vide relatif est à l'extérieur tandis que pour les appareils où règne le vide, la haute pression est extérieure. Il en résulte que les calculs de résistance des parois, par exemple, sont inverses dans chaque cas. Ceci est d'ailleurs aussi vrai pour les appareils utilisés à la surface du sol qu'en haute atmosphère ou sous le niveau de la mer. En effet, que la pression, ou le vide, soient des éléments naturels ou expérimentaux, les deux techniques paraissent opposées. Ainsi, un habitacle stratosphérique qui doit résister à une haute pression intérieure, a tendance à éclater vers l'extérieur, tandis qu'un sous-marin a tendance à s'aplatir.

Mais, si elles sont opposées du point de vue de la résistance vectorielle des matériaux, ces techniques sont similaires dans leurs fonctions essentielles: s'opposer au vide, ou ce qui revient au même, à la pression.

D'après ces premières considérations, il est inutile de rechercher des similitudes entre les appareils d'obtention de pressions inférieures et supérieures à la pression atmosphérique: les premiers constituent des pompes à surpression et les seconds des pompes à dépression. Il est presque superflu de dire également que les appareils de maintien du vide ou de la pression seront également de nature et de conception très différentes. Dans ces deux domaines, qui sont peut-être les plus importants de ces techniques, les calculs, méthodes et réalisations employés dans l'un des cas sont sans application dans l'autre.

Certains appareils de mesure de la pression et du vide présentent des points communs tout au moins dans leur conception: mais ici encore les exigences techniques les différencient tellement qu'il serait illusoire de vouloir retirer des enseignements valables pour les deux voies qui nous intéressent.

Dès lors, après ces successives éliminations, que demeure-t-il d'intéressant à examiner ? Des accessoires qui ont cependant une importance capitale aussi bien dans la technique des hautes pressions que dans celle du vide : les joints et les appareils qui dérivent directement de leur application, par exemple, les vannes ou robinets.

Tous les spécialistes savent que s'il est relativement aisé d'acquérir ou de réaliser des pompes et des appareils simples, il est beaucoup moins facile de rendre étanches les différentes connexions, les sorties de conducteurs, les divers ajutages.

Or, pour le problème des joints, le sens de la tendance aux fuites importe beaucoup moins, c'est-à-dire que les mêmes conceptions peuvent trouver des applications pour le vide et la pression.

Dans la technique des hautes pressions deux classes de joints sont utilisés : les joints mécaniques et les joints automatiques.

L'étanchéité par joint mécanique est obtenue en utilisant un joint de matière aisément déformable pressé entre deux surfaces ; la pression de contact doit être supérieure à la pression que l'on veut maintenir dans le fluide. Cette pression est obtenue par le serrage plus ou moins poussé du joint ou bourrage entre le support et la pièce mobile (Fig. 1).

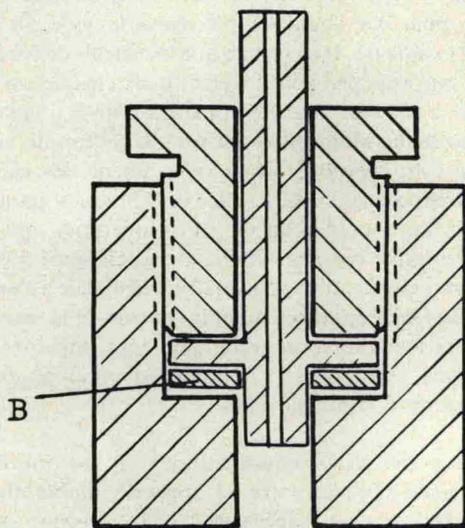


FIG. 1.

Ce type de joint est le plus ancien et le plus classique. Les applications en sont multiples mais il est cependant de plus en plus remplacé par les joints à serrage automatique, le joint à serrage mécanique présentant divers désavantages dont l'un des plus marqués est sa limitation due à la force que l'on peut développer pour assurer l'étanchéité totale.

Les joints automatiques au contraire dont le promoteur est Bridgman et qui sont dérivés du joint de culasse des canons français, est caractérisé par le fait que c'est la pression du fluide elle-même qui opère l'application du bourrage contre le corps de l'appareil (Fig. 2). Ce joint, appelé également à aire non supportée, est réalisé de façon à ce que la matière

déformable (B) soit comprimée par une pièce mobile (A) sur laquelle agit la pression. Comme cette pression agit sur toute la surface de la pièce mobile, mais que la surface du joint déformable est plus petite, la pression qui agit sur le joint est toujours plus grande que la pression existant dans l'appareil. La bonne réalisation de tels joints présente quelques difficultés.

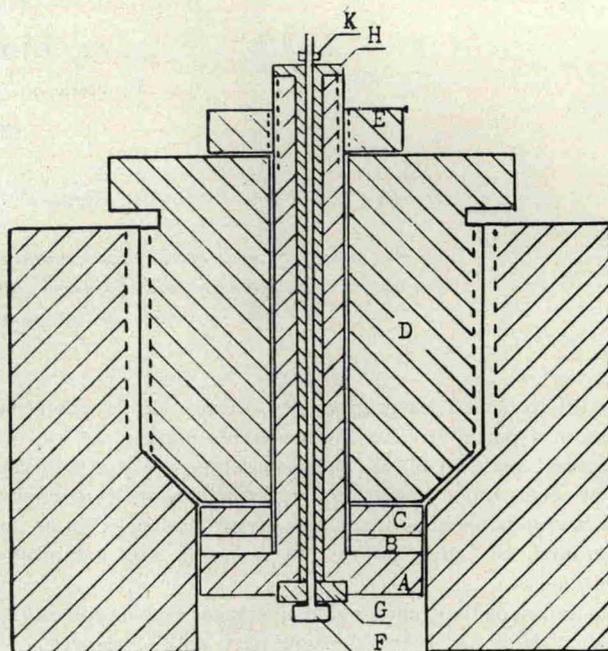


FIG. 2.

dont la principale est d'empêcher que le joint ou bourrage (B) ne flue vers l'extérieur ; en outre, il faut qu'il règne dans ce joint une pression préalable à toute mise sous pression hydraulique : cette pression initiale est obtenue par un léger serrage exécuté de l'extérieur.

Ce joint automatique peut être utilisé dans tous les cas, même lorsqu'il s'agit de joints pour vannes ou joints de pistons : son exécution dans ces cas s'avère parfois extrêmement délicate, mais est toujours réalisable.

D'autres types de bourrages automatiques ou semi-automatiques sont également utilisés et nous citerons, en particulier, le joint Poulter dont le fonctionnement est très simple et qui est uniquement constitué d'un cylindre de matière déformable de diamètre supérieur à l'alésage dans lequel il est introduit. Lorsque la pression agit sur ce joint, il a tendance à se bomber vers l'extérieur, en exerçant une certaine pression sur les parois. Comme les parois sont indéformables, le joint s'applique sur les parois de l'appareil, sous une pression également légèrement supérieure à la pression intérieure, comme dans le joint à aire non supportée : il en résulte une étanchéité convenable et aisée à obtenir. Ce système qui présente par ailleurs des inconvénients certains, est surtout employé dans le cas de pistons mobiles.

Un autre type de joint, plus connu des techniciens du vide, est le joint torique ou "O ring" : la façon dont se comporte un tel joint est très particulière. Les joints toriques sont constitués d'un anneau de matière aisément déformable placé

dans un logement non cylindrique, mais de section carrée ou rectangulaire. Leur déformation permet d'obtenir des obturations parfaites: ce type de joint peut d'ailleurs être assimilé à des joints automatiques du type Poulter, la pression agissant toujours sur une surface plus étendue que celle tournée vers la dépression.

Ces "O rings" ou joints toriques constituent certainement le meilleur, et d'ailleurs presque le seul exemple d'une méthode dont l'application s'est très rapidement portée des hautes pressions vers le vide. Actuellement l'usage que l'on en fait dans la technique du vide semble être d'égale importance que dans la technique des hautes pressions; en effet, il n'est guère de fascicules de revues spécialisées où l'on n'en décrive chaque fois de nouvelles et fructueuses applications.

Nous avons cité comme parties d'appareils susceptibles de s'appliquer à la fois au vide et à la pression, les passages de courant. Divers modèles sont utilisés et il serait fastidieux de les passer en revue, d'autant plus que les principes sur lesquels ils sont basés sont généralement les mêmes. Dans les Laboratoires de l'Institut des Hautes Pressions nous avons généralisé l'emploi de passages de courant basés sur les principes des joints à aire non supportée. Dans la Fig. 2 qui représente le bouchon d'un cylindre à haute pression, est figuré un tel conducteur, dans la partie centrale du bouchon. L'électrode *F* dont la tête est plus petite que la cavité ménagée dans le bouchon, vient s'appliquer contre le bourrage *G*, dont la surface est plus grande que la cavité dans lequel il est introduit: ce joint tient donc à la fois du joint Bridgman et du joint Poulter. La pièce *H* est en matière isolante, tandis que l'écrou *K* sert à réaliser le préserrage de la tête de l'électrode *F* sur le bourrage.

Nous avons passé ainsi rapidement en revue les quelques méthodes qui paraissent avoir retenu l'attention des chercheurs pour leur application dans les techniques du vide et des hautes pressions. Nous avons également vu que les joints toriques étaient utilisés d'une façon très étendue et très généralisée dans beaucoup de laboratoires spécialisés dans ces deux domaines. Nous n'en avons pas trouvé la raison précise, ni si celle-ci est due à une étude raisonnée de l'application de cette méthode employée sur une grande échelle par l'U.S. Air Force pendant la dernière guerre dans divers domaines. Sans doute, leur interchangeabilité, leur souplesse d'emploi, la facilité de construction de leurs supports fit-il que tout naturellement on adapta ces joints toriques à tous les cas où il fut possible de le faire, sans distinction de vide ou de pression. De laboratoires où ces deux techniques étaient conjointement employées, leur emploi dut se généraliser dans les deux directions opposées.

Il serait toutefois inexact de croire que certains chercheurs n'ont pas imaginé d'utiliser des appareils, ou des parties d'appareils utilisables à la fois à des pressions inférieures et supérieures à la pression atmosphérique: nous sommes enclins à supposer, au contraire, qu'il existe de nombreux cas de ce genre, mais que ceux-ci n'ont pas été publiés.

Nous avons cependant trouvé quelques exemples qui illustrent assez bien l'usage combiné de certains appareils.

Ainsi, Reilly<sup>1</sup> a réalisé une valve très astucieusement

agencée et destinée à permettre l'évacuation d'une chambre et l'introduction ultérieure d'un gaz sous une pression de 30 kg/cm<sup>2</sup> environ: quoiqu'une telle pression n'est guère élevée, on peut remarquer que ce type de valve pourrait être réalisé pour de plus hautes pressions. Le schéma (Fig. 3) indique clairement que ce robinet est combiné de manière à empêcher les fuites au moyen d'un soufflet métallique soudé au guide du pointeau lorsqu'il est employé sous la pression atmosphérique. Celui-ci, au lieu d'agir directement sur son embase, le fait au travers d'un joint en téflon. On voit donc, que si l'on amenait quelques modifications simples, on pourrait au moyen d'une telle valve atteindre, comme l'auteur, des vides de l'ordre de 10<sup>-6</sup> mmHg, mais dépasser largement la limite des 30 kg/cm<sup>2</sup>.

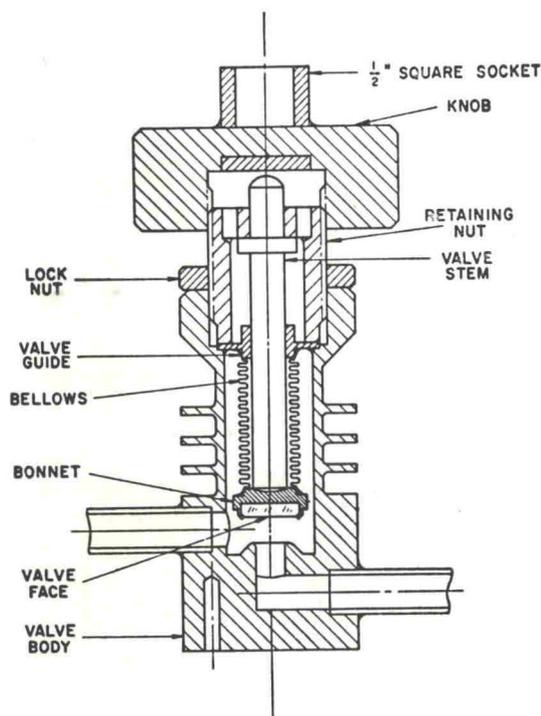


FIG. 3.

D'autres auteurs ont effectué des combinaisons de chambres d'étude, utilisables également en dépression et sous pression: nous citerons l'exemple qui nous paraît le mieux approprié à un double usage et qui a été réalisé par Shon, Steidlitz et Feldman.<sup>2</sup> Le but de ces chambres est de permettre l'étude des radiations: elles doivent, de ce fait, comporter des fenêtres métalliques de très faible épaisseur et être construites de telle sorte à pouvoir être employées aussi bien pour le vide que pour des pressions de l'ordre de 40 à 50 kg/cm<sup>2</sup>, sans faire usage de joints quelconques. Une solution assez particulière a été prise par ces auteurs, pour la réalisation d'un appareil, à vrai dire, également assez particulier. Nous nous reporterons uniquement au schéma de l'appareil sans entrer dans les détails de la construction des fenêtres métalliques

<sup>1</sup> E. G. Reilly; "A combination high-vacuum and pressure valve", *Rev. Sci. Instrum.* **24**, 875 (1953).

<sup>2</sup> F. J. Shon, M. Steidlitz and M. H. Feldman; "The window metal irradiation cells for high-vacuum or high-pressure experiments", *Rev. Sci. Instrum.* **24**, 550 (1953).

(Fig. 4). Ces fenêtres sont soudées dans le corps de l'appareil, celui-ci étant formé primitivement de deux parties, les connexions des tubulures se faisant à la partie supérieure. On comprend qu'un tel appareil supporte aisément, malgré la faible épaisseur de la fenêtre métallique, des vides assez poussés. Mais, où l'appareil devient intéressant c'est lorsqu'on

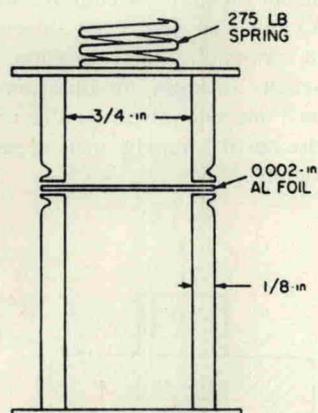


FIG. 4.

l'utilise pour des pressions élevées (Fig. 5): dans ce cas la fenêtre est partiellement obturée par un disque perforé, qui tout en permettant son irradiation empêche la fenêtre de se briser. Nous retrouvons dans ce cas particulier un exemple de la résistance très élevée présentée par des fenêtres de verre ou de quartz, ajustés contre un disque d'acier perforé d'un diamètre égal à la moitié environ de celui de la fenêtre. De telles fenêtres résistent aisément à des pressions dépassant  $1000 \text{ kg/cm}^2$ , pour des ouvertures d'un diamètre de  $6 \text{ mm}$ .<sup>3</sup>

Ces modestes applications, dont sans aucun doute, il existe de nombreux et plus intéressants exemples, doivent nous

<sup>3</sup> L. Deffet; "La résistance du verre à la pression sous haute température", *Sci. Techn.* 10, 9 (1943).

inciter à rechercher plus attentivement les possibilités d'emploi d'appareils combinés et aussi à appliquer les méthodes et les techniques du vide à celles des hautes pressions et inversement.

Notre communication n'a guère eu d'autre but que de rappeler à tous combien pourrait être fructueuse la collaboration de laboratoires de tendances à première vue très diffé-

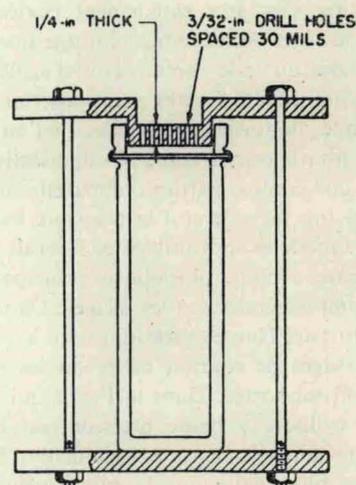


FIG. 5.

rentes: ce point de vue n'a pas échappé à l'un de nous (E.T.) qui a créé au sein de l'Institut Belge des Hautes Pressions, une Section des basses pressions et du vide. Cette section a eu, jusqu'à présent, une activité assez réduite: nous pensons qu'il aurait grand intérêt à lui fournir la possibilité de se développer et d'entreprendre des travaux sur des points techniques particuliers et bien précis, dont le choix serait basé sur les quelques principes qui viennent d'être énoncés.

Nous sommes persuadés que ce projet se réalisera dans un proche avenir et que la science du vide et des hautes pressions en récoltera quelques résultats.

## DISCUSSION

P. NOE: D'autres matériaux que le caoutchouc, le cuivre rouge, les aciers doux et durs ont-ils été utilisés dans le domaine des joints automatiques coulissants?

RÉPONSE: Oui et d'une façon générale tous les matériaux ductiles peuvent être employés.

P. HESTERMANS: En addition à la réponse du Dr. Deffet, il est signalé que le matériau utilisé dans les joints automatiques peut varier selon les conditions: le polyvinyle flue et résiste à faible température, le téflon a l'avantage de mieux résister, surtout s'il

est pris en sandwich sous deux feuilles de cuivre. Enfin si on désire dépasser la limite supérieure de travail du téflon, on peut utiliser un joint en argent.

En ce qui concerne la transmission des mouvements dans une enceinte, s'il s'agit de mouvements de translation ou de rotation lents, on a recours à des systèmes s'inspirant des vannes et robinets où le pointeau est rendu étanche par un bourrage circulaire. Une agitation peut être réalisée grâce à un système d'électro-aimant alimenté et coupé à une fréquence déterminée; toutefois dans la technique des hautes pressions on est gêné bien souvent par la grande masse d'acier qui constitue les appareils et autoclaves.