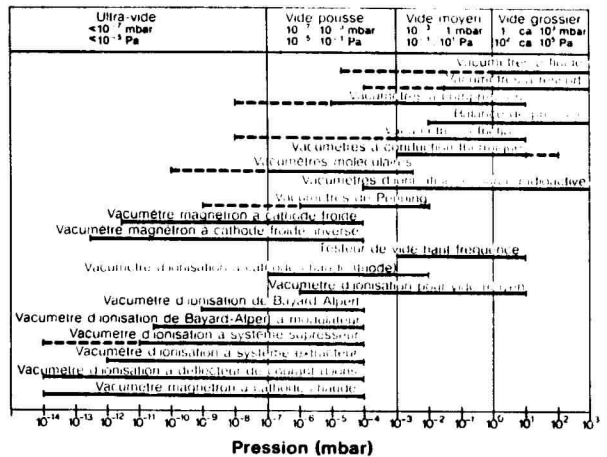


# VOYAGES AU CŒUR DU VIDE

## Mesures

### Domaines de mesures des vacuètres



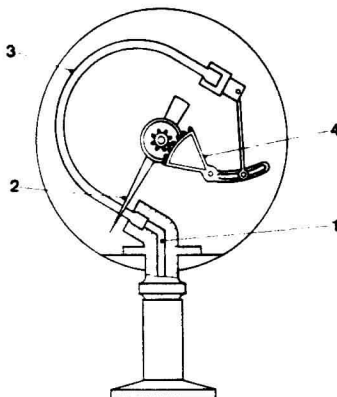
Utilisation des pompes à vides et vacuètres dans les différents domaines de pression

### Vacuètres à indication de pression indépendante de la nature du gaz (vacuètres mécaniques).

Les vacuètres mécaniques mesurent directement la pression en enregistrant la force que les particules (molécules et atomes) d'un volume gazeux exercent sur une surface en raison de leur vitesse thermique.

#### 1. Vacuètre à ressort

L'intérieur d'un tube de section circulaire coudé (dit tube de Bourdon) est raccordé à l'enceinte à évacuer. Lors de l'évacuation, l'extrémité du tube est plus ou moins courbée sous l'action de la pression de l'air extérieur. Cela actionne l'aiguille indicatrice qui y est raccordée. Cela actionne l'aiguille indicatrice qui y est raccordée. L'échelle est linéaire.



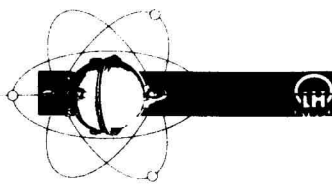
1 Raccord au récipient 2 Indicateur 3 Tube de Bourdon 4 Système de levier

Coupe schématique d'un vacuètre à ressort

#### 2. Vacuètres à membrane

##### 2.1 Vacuètre à capsule

L'exécution la plus connue de vacuètre à membrane est le baromètre anéroïde. Il est constitué d'une boîte hermétiquement close et sous vide dont une surface est une paroi mince formant membrane. De petites variations de pression entraînent une déformation de la boîte qui est transmise à une aiguille indicatrice par l'intermédiaire d'un système de levier. Le vacuètre à capsule indique la pression sur une échelle à graduation linéaire indépendamment de la pression atmosphérique extérieure.

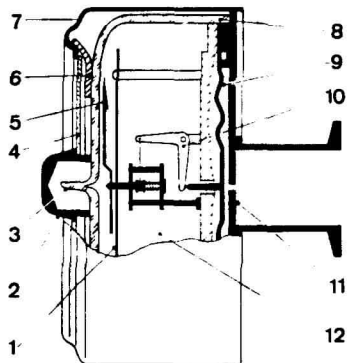


# VOYAGES AU CŒUR DU VIDE

## 2.2 Vacumètre à membrane DIAVAC

Un autre vacumètre à membrane, le DIAVAC, possède une échelle très dilatée entre 1 à 100 mbar.

La partie de la chambre intérieure dans laquelle se trouve le système de levier (10) de la tête de mesure est évacuée à une pression de référence inférieure à  $10^{-4}$  mbar. Le raccord vers l'enceinte à vide a la forme d'une membrane en coupelle (9). Aussi longtemps que le récipient n'est pas évacué, cette membrane est appliquée contre une paroi fixe. Au fur et à mesure de l'évacuation, la différence entre la pression à mesurer et la pression de comparaison devient plus faible. La membrane se déforme de plus en plus en dessous de 100 mbar. Dans le DIAVAC également, la déformation de la membrane est transmise à une aiguille indicatrice (5). L'échelle de la gamme de mesure comprise entre 1 et 20 mbar est particulièrement dilatée et la pression très exactement mesurable (à environ 0,3 mbar près). Dans le télé DIAVAC, la tête de mesure d'un vacumètre à membrane sert de transmetteur de signal à un indicateur de mesure électrique.

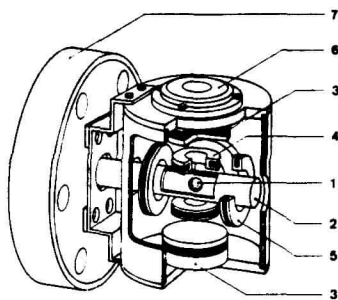


1 Plaque de couverture spéculaire 2 Capuchon de protection 3 Pointe étreinte 4 Disque en plexiglass 5 Indicateur 6 Echelle 7 Enveloppe en tôle 8 Cloche en verre 9 Membrane 10 Système de levier 11 Côté raccordement 12 Vide de comparaison

Coupe d'un vacumètre à membrane.

## 3. Vacumètre à friction (VISCOVAC)

Etant dépendante de la pression la friction des gaz, peut être utilisée pour la mesure de basses pressions en vide moyen et poussé. On utilise alors comme élément de mesure une sphère d'acier de quelques mm de diamètre, suspendue sans frottement dans un champ magnétique. La sphère est mise en rotation par une impulsion électro-magnétique. Quand elle atteint une vitesse de rotation élevée (par ex. 400 Hz), la sphère est laissée à elle-même. Sa vitesse de rotation décroît alors plus ou moins rapidement suivant la friction du gaz, qui dépend elle-même de la pression régnante. La pression du gaz est déduite de la réduction de vitesse de rotation relative (freinage).



1 Sphère en acier inoxydable  
2 Tube de mesure fermé d'un côté soudé dans la bride de raccordement 7  
3 Aimant permanent  
4 Boîtes de stabilisation  
5 Quatre bobines d'entraînement  
6 Niveau à huile  
7 Bride de raccordement au système à vide

Coupe de tête de mesure d'un vacumètre à friction

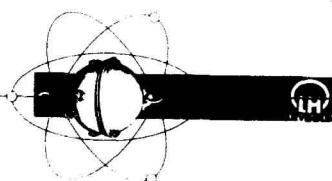
## 4. Vacumètres à liquide (Mercure)

### 4.1 Vacumètre à tube en U

Les vacumètres à tube en U rempli de mercure sont à la fois les plus simples et les plus précis pour le vide grossier (de 1013 à quelques mbar). Malheureusement, leur fragilité, leur dimension et les problèmes écologiques qu'ils posent limitent fortement leur utilisation technique.

### 4.2 Vacumètre à compression

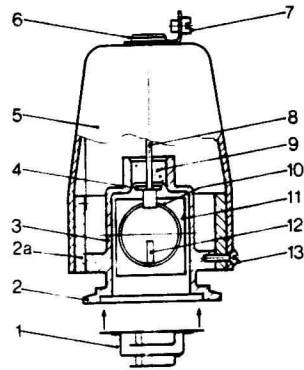
Un vacumètre encore important aujourd'hui, est le vacumètre à compression inventé par McLeod en 1874. Il est souvent utilisé comme appareil étalon pour le calibrage d'appareils de mesure de vide moyen, et même de vide poussé jusqu'en dessous de  $10^{-4}$  mbar. Beaucoup de précautions doivent être prises pour pouvoir garantir leur précision. Comme pour le vacumètre en U, leur utilisation dans le domaine technique est très limitée.



# VOYAGES AU CŒUR DU VIDE

## Vacumètre à ionisation

Les vacuumètres à ionisation mesurent la pression à l'aide de la densité de particules. Pour cela, une partie des molécules ou des atomes se trouvant dans le volume gazeux est ionisée par choc avec les électrons. Les ions produits cèdent leur charge positive à une électrode de mesure du système. Le courant d'ions ainsi obtenu est une mesure de la pression. La formation des ions a lieu soit dans une décharge dans un champ électrique à haute intensité, ou par collisions avec des électrons émis par une cathode chaude.



## Vacuumètres d'ionisation à cathode froide

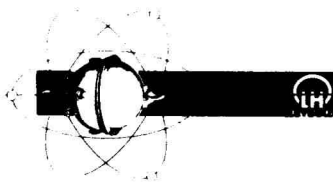
Les vacuumètres d'ionisations à cathode froide comportent deux électrodes non chauffées, anode et cathode, entre lesquelles s'amorce – à l'aide d'une tension continue (de l'ordre de 2 kV) – une décharge froide, qui s'entretient, et se poursuit encore de façon stable à de très basses pressions. Ceci est obtenu à l'aide d'un champ magnétique qui augmente la trajectoire des électrons de façon telle que leur taux de collision avec les molécules de gaz soit suffisamment élevé pour produire le nombre de porteurs de charges nécessaires à l'entretien de la décharge.

Le champ magnétique est disposé de façon telle que les lignes de champ magnétique se superposent aux lignes de champ électrique. Au cours de leur cheminement vers la cathode, les électrons parcourent une trajectoire hélicoïdale. Les porteurs de charges positives et négatives qui se produisent par collision migrent vers les électrodes correspondantes en créant un courant de décharge dépendant de la pression.

L'indication (en mbar) est dépendante de la nature du gaz. La gamme de mesure est limitée vers le haut par le fait qu'à des pressions supérieures à quelques  $10^{-2}$  mbar la décharge se transforme en une décharge lumineuse à émission intense dont l'intensité n'est que peu dépendante de la pression, et donc inutilisable.

- |                           |                                     |
|---------------------------|-------------------------------------|
| 1 Baffle                  | 6 Amène à l'anode                   |
| 2 Raccord à petite bride  | 9 Scellement en verre sous pression |
| 2a Aimant permanent       | 10 Anode annulaire                  |
| 3 Boîtier                 | 11 Tôle de cathode interchangeable  |
| 4 Tôle de protection      | 12 Amorçeur                         |
| 5 Enveloppe               | 13 Fixation de l'enveloppe 5        |
| 6 Connexion haute tension |                                     |
| 7 Connexion de sécurité   |                                     |

Coupe d'un vacuumètre d'ionisation à cathode froide avec baffle interposé.



# VOYAGES AU COEUR DU VIDE

## Vacumètres à indication de pression dépendante de la nature du gaz (vacumètres électriques)

Les vacumètres électriques mesurent la pression indirectement, à partir de la densité de particules qui est dépendante de la nature.

Les appareils se composent de l'organe de mesure proprement dit et de l'appareil de commande nécessaire à son fonctionnement. Les échelles de pression de ces appareils sont habituellement étalonnées sur l'azote; la pression lue est désignée par « pression équivalente d'azote ». Pour mesurer la pression d'un autre gaz, les valeurs lues doivent être multipliées par un facteur de correction. Dans les vacumètres à ionisation ces facteurs sont pratiquement indépendants de la pression, aussi longtemps que l'on mesure dans la gamme propre de l'appareil. Dans les vacumètres à conduction thermique par contre, les facteurs sont la plupart du temps dépendants de la pression.

## Vacumètres à conduction thermique

Le rapport entre la densité de particules décroissante et le libre parcours moyen d'un gaz augmentant au fur et à mesure que baisse la pression, et la conductibilité thermique de ce gaz, est utilisé spécialement dans le domaine du vide moyen ( $1$  à  $10^{-3}$  mbar) pour les mesures de pression.

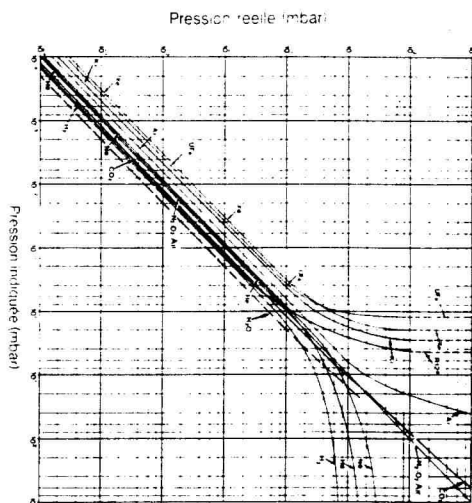
L'appareil de mesure le plus classique de ce type est le vacumètre de Pirani.

Un fil de rayon  $r_1$  parcouru par un courant restitue au gaz l'entourant, par rayonnement et conduction thermique, la chaleur qu'il produit. Dans le vide grossier, la conduction thermique due à la convection des gaz est presque indépendante de la pression. Mais quand, à une pression de quelques mbar, le libre parcours moyen du gaz devient de l'ordre de grandeur du diamètre du fil, ce mode d'évacuation de chaleur se réduit de plus en plus, en étroite dépendance de la variation de pression.

En dessous de  $10^{-3}$  mbar, le libre parcours moyen devient de l'ordre de grandeur du rayon  $r_2$  du tube de mesure. Ce phénomène physique est utilisé dans les vacumètres à conduction thermique pour la mesure de la pression.

Le fil de mesure  $W$  de la cellule de mesure constitue une branche d'un pont de Wheatstone.

Dans les vacumètres à conduction thermique non régulés THERMOTRON, le fil de mesure est alimenté à courant constant. A pression de gaz croissante, la température du fil de mesure décroît par suite de la dissipation de chaleur plus grande, et le pont se trouve déséquilibré. Le courant de pont sert de mesure de la pression de gaz.

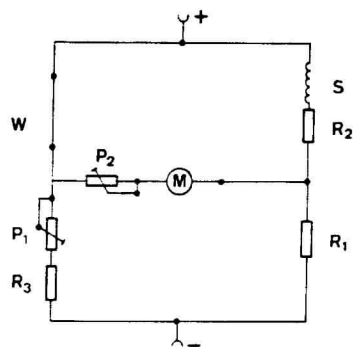


Courbes de calibration des appareils de mesure THERMOVAC pour différents gaz, rapportées à l'indication en pression équivalent-azote

Dans les vacumètres à conduction thermique régulés (série THERMOVAC par exemple) également, le fil de mesure se trouvant dans le tube constitue une branche du pont de Wheatstone. La tension de chauffage appliquée à ce pont est réglée de façon à ce que la température du fil demeure constante indépendamment de la dissipation de chaleur. Le pont est donc toujours en équilibre. Etant donné que le transfert de chaleur du fil au gaz augmente avec la pression, la tension appliquée au pont est une mesure de la pression.

Alors que les vacumètres à conduction thermique non régulés ne couvrent que la gamme entre  $10^{-3}$  et  $10$  mbar, les vacumètres régulés ont une plage de mesure de  $10^{-3}$  à  $10^{13}$  mbar.

Etant donné leur temps de réponse très court, ils se prêtent particulièrement bien aux fonctions de commande et de régulation.



— Amener de tension continue.  $W$  : Fil de mesure en Tungstène.  $R_1$ ,  $R_2$  : Résistances du pont.  $P_1$ ,  $P_2$  : Potentiomètres de réglage.  $M$  : Ampèremètre du pont.  $S$  : Bobine de cuivre pour compensation des variations de température ambiante.

Schema du montage en pont d'un vacumètre à conduction thermique non régulé (THERMOTRON).

