

# Technique du vide



Principales notions  
Production du vide  
Mesure des basses pressions

[Leybold: Fundamentals of Vacuum Technology](#)

# Applications

- Industrie
    - Métallurgique et mécanique  
alliages, traitements thermiques
    - Agro-alimentaire  
séchage, lyophilisation, conservation
    - Électrique et électronique  
lampes, tubes, wafers et  
microprocesseurs, moniteurs
    - Contrôle de qualité  
détection de fuite
  - Analyse et recherche
    - Mesures à haute et basse température
    - Microscopes électroniques
    - Accélérateurs de particules
    - ...
- ...

## Principales notions

- Pression  $P$ 
    - la force sur une unité de surface
    - unité SI: pascal
    - dans l'industrie mbar = 100 Pa
    - souvent aussi Torr = 1 mm de colonne Hg
- $$P = \frac{F}{S}$$
- $$[Pa] = \left[ \frac{N}{m^2} \right]$$
- $$(P_{atm} = 1013.25 \text{ mbar})$$
- $$(P_{atm} = 760 \text{ Torr})$$

## Principales notions

- Libre parcours moyen  $\lambda$  - trajet parcouru librement par une molécule entre deux collisions
- Equation d'état d'un gaz parfait  $PV = NkT$

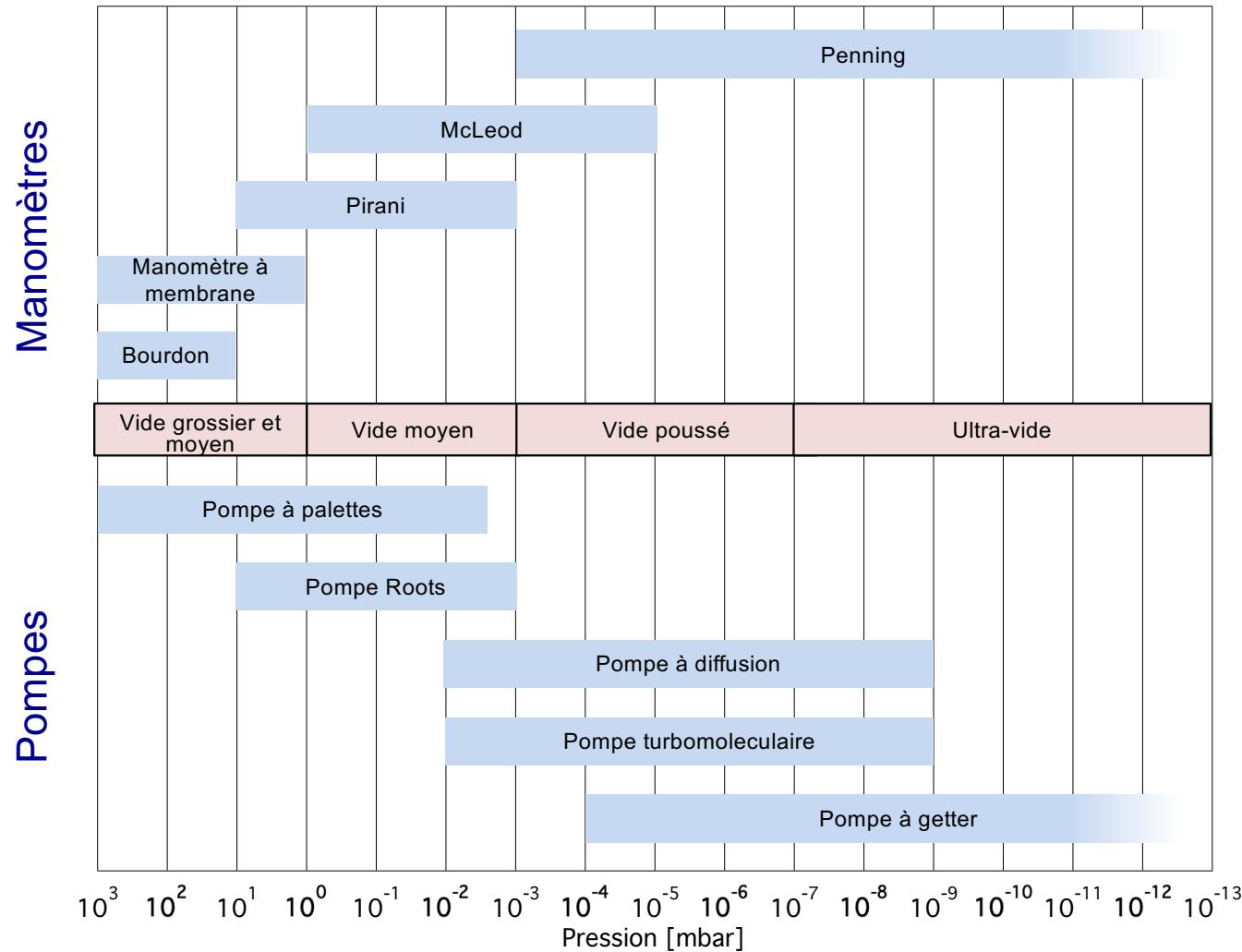
"faire le vide" = diminuer le nombre de molécules  $N$  dans  $V$  ( $T = \text{const.}$ )

## Zones de pression de la technique du vide

	Pression	Molécules/cm <sup>3</sup>	Libre parcours moyen
vide grossier	1000 – 1 mbar	$10^{19} - 10^{16}$	0.1 - 100 μm
vide moyen	1 – 10 <sup>-3</sup> mbar	$10^{16} - 10^{13}$	0.1 - 100 mm
vide poussé	10 <sup>-3</sup> – 10 <sup>-7</sup> mbar	$10^{13} - 10^9$	10 cm - 1 km
ultra - vide	10 <sup>-7</sup> – 10 <sup>-12</sup> mbar	$10^9 - 10^4$	1 km - 10 <sup>5</sup> km

- vide primaire (grossier ou moyen)
- vide secondaire (poussé)

# Production et mesure du vide



# Production du vide: pompes

Classification des pompes par le principe d'opération

## 1. pompes "à transfert"

a) pompes volumétriques - emprisonnement d'un volume de gaz, compression, refoulement  
utilisation des propriétés de compressibilité des gaz

pompe à palettes

b) pompes cinétiques - orientation des trajectoires préférentiellement vers la sortie

pompe turbomoléculaire, pompe à diffusion

## 2. pompes "à piégeage"

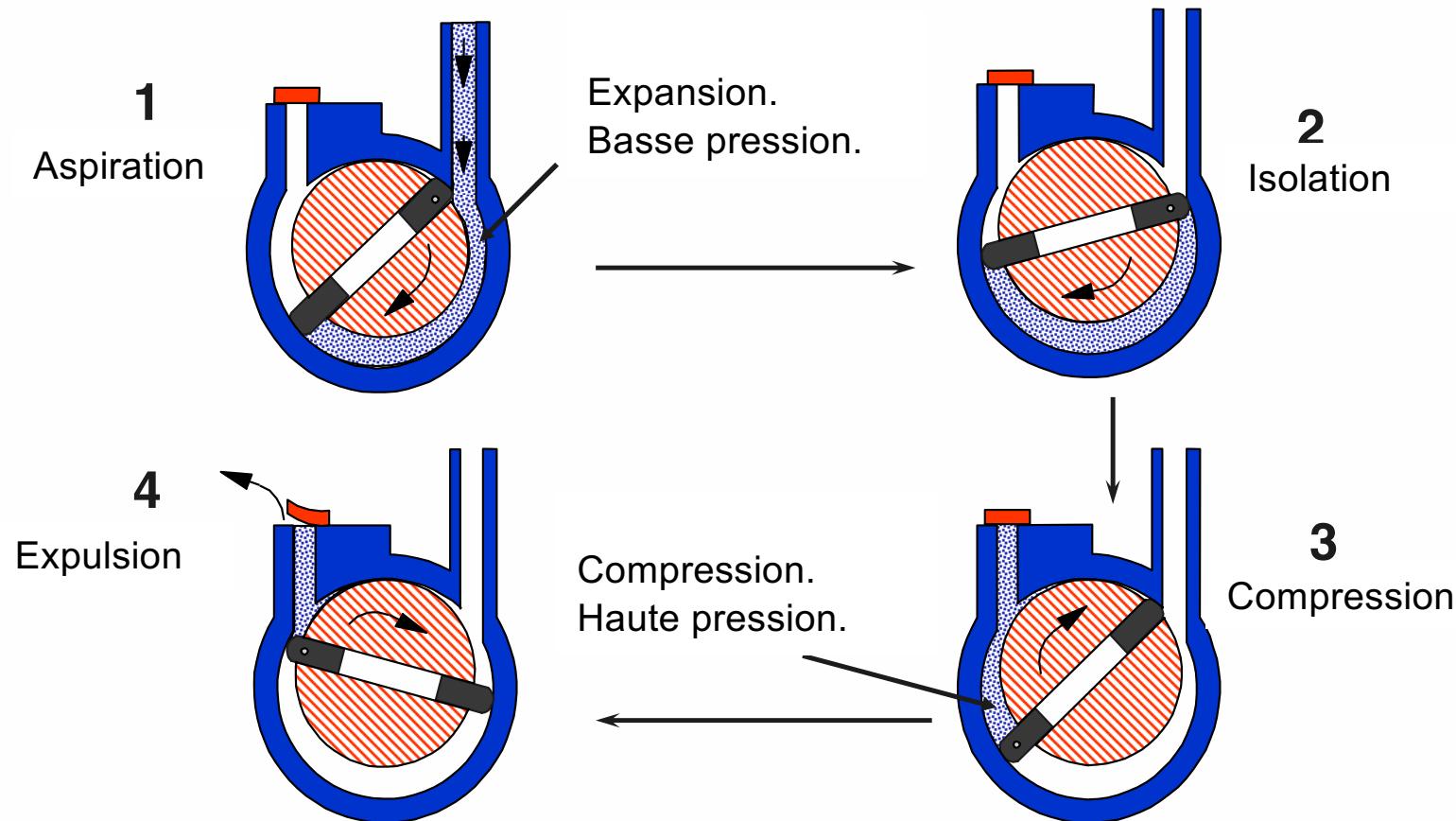
fixent les particules sur une paroi solide

utilisation des propriétés de condensation (physisorption) et/ou de combinaison chimique  
(chimisorption)

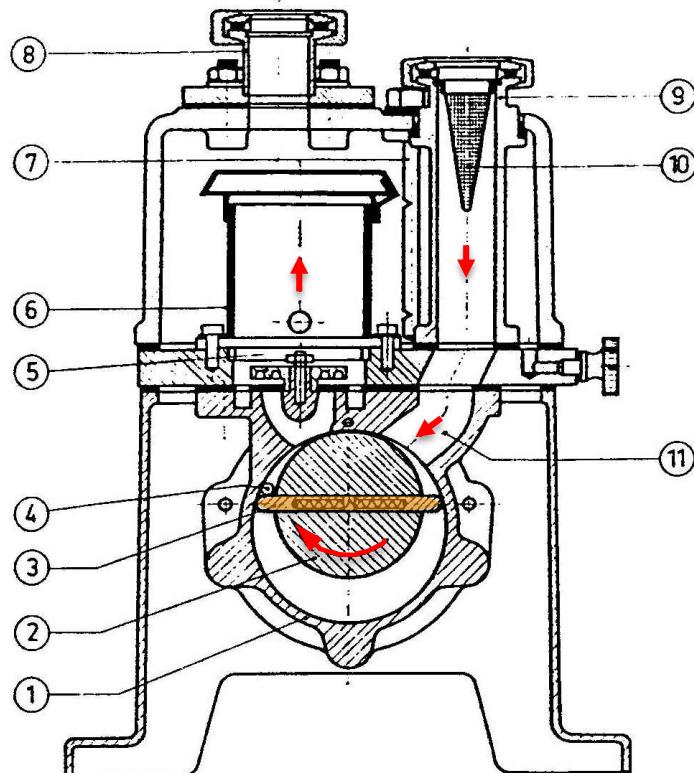
## Pompe rotative à palettes

- vide primaire **1000 –  $10^{-2}$  mbar**
- débit: de 1 à 300 m<sup>3</sup>/h
- utilisation: pompe primaire universelle
  - seule ou comme pompe primaire d'un groupe de vide pousse
  - grande longévité, si bien utilisée
  - pompe à joint d'huile, pouvant être la source de pollutions aux hydrocarbures

# Pompe rotative à palettes

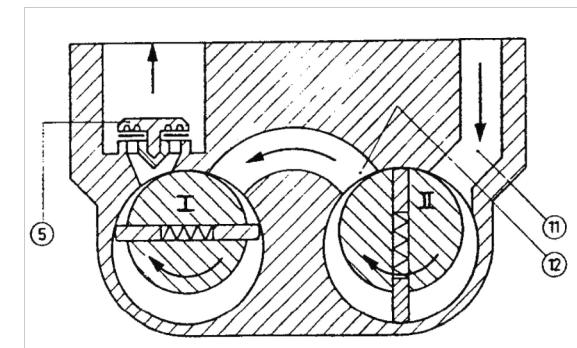


# Pompe à palettes



Vue en coupe d'une pompe rotative à palettes à un étage

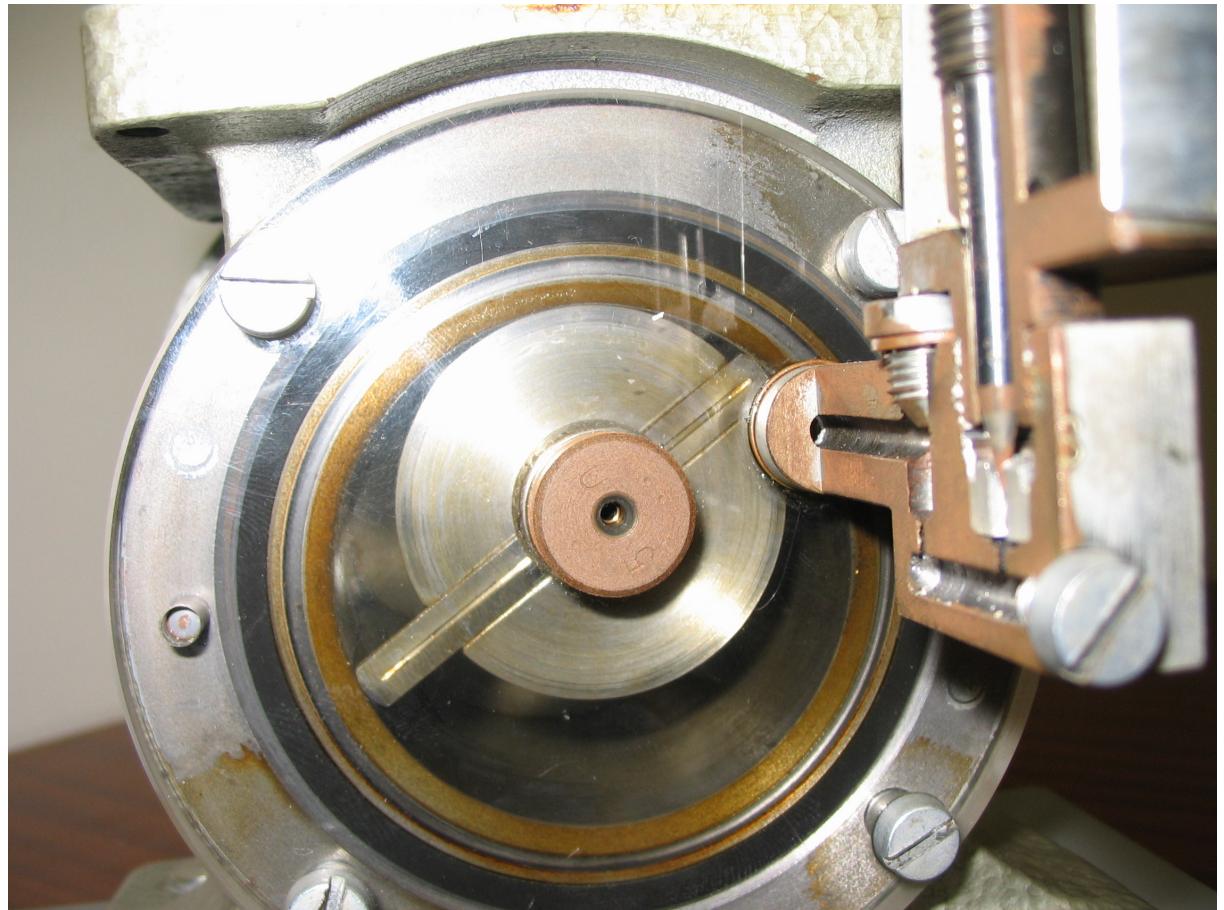
1. Corps de pompe cylindrique
2. Rotor excentré
3. Palettes
4. Entrée du lest d'air
5. Soupape d'échappement recouverte d'huile
6. Déflecteur d'huile
7. Jauge de niveau d'huile
8. Tubulure d'échappement
9. Tubulure d'aspiration
10. Piège à impuretés
11. Canal d'aspiration



Vue en coupe schématique d'une pompe rotative à palettes à deux étages

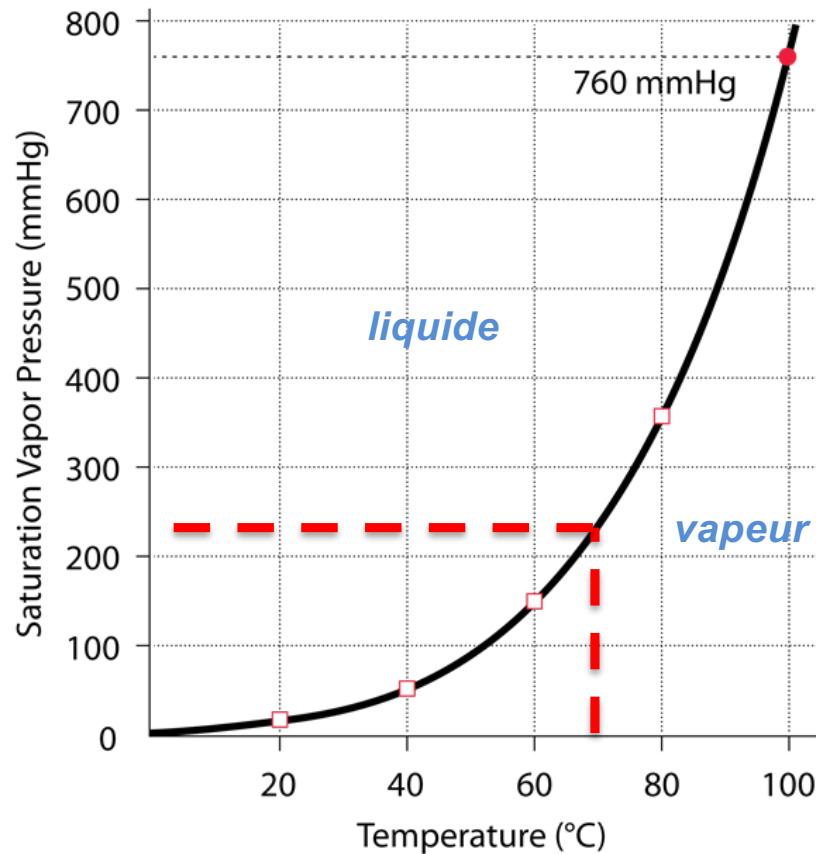
Les pompes rotatives à palettes comportent un corps de pompe cylindrique (1) dans lequel tourne un rotor excentré (2) coupé par une rainure. Dans cette rainure sont logées deux palettes (3) écartées l'une de l'autre par des ressorts. Les palettes sont disposées de façon que leurs bords forment constamment un joint étanche sur le pourtour du cylindre, en poussant devant elles l'air aspiré par le canal (11), pour l'expulser par le soupape d'échappement (5) recouverte d'huile. Cette huile sert à assurer l'étanchéité et constitue en même temps un lubrifiant pour le fonctionnement de la pompe.

## Pompe à palettes



## Lest d'air

### Pompage de vapeurs condensables

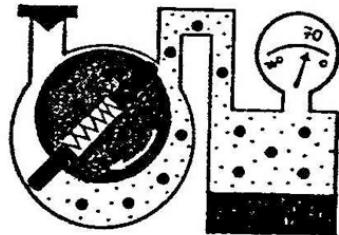


- taux de compression d'une pompe à palettes aspirant à  $10^{-2}$  Torr

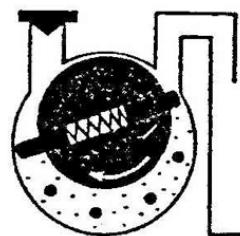
$$\frac{760}{10^{-2}} \approx 10^5$$

- Vapeur d'eau à 70°C ne peut pas être comprimée au-dessus de 230 Torr

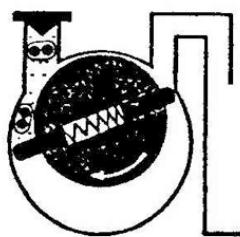
### Sans lest d'air



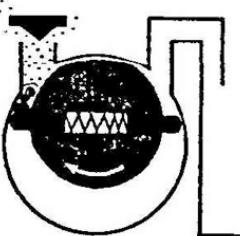
La pompe est raccordée au récipient déjà presque vide d'air (environ 70 Torr [mm Hg]). Elle doit par conséquent aspirer presque exclusivement des particules de vapeur. Elle travaille sans lest d'air.



La chambre d'aspiration est séparée du récipient. La compression commence.

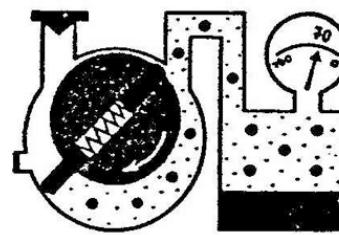


Les gaz et vapeurs enfermés dans la chambre d'aspiration sont déjà si comprimés que la vapeur se condense en gouttelettes. La surpression n'est pas encore atteinte!

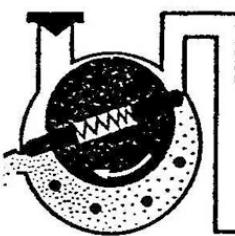


A ce moment seulement, l'air résiduel atteint la surpression nécessaire pour ouvrir la soupape d'échappement. Pourtant la vapeur est déjà condensée et des gouttelettes sont déposées dans la pompe.

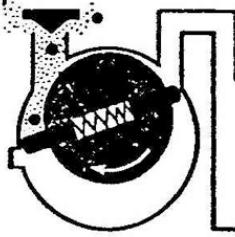
### Avec lest d'air



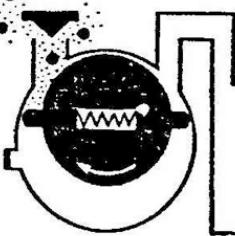
La pompe est raccordée au récipient déjà presque vide d'air (environ 70 Torr [mm Hg]). Elle doit par conséquent aspirer presque exclusivement des particules de vapeur. Elle travaille avec lest d'air.



La chambre d'aspiration est séparée du récipient. Maintenant, la vanne de lest d'air s'ouvre, remplissant la chambre d'aspiration d'air frais additionnel, le «lest d'air».



La soupape d'échappement se soulève et les particules de vapeur et de gaz sont expulsées: la surpression nécessaire a été atteinte plus tôt grâce au dispositif de lest d'air, tout comme au début du pompage. Ainsi, aucune condensation ne peut survenir.



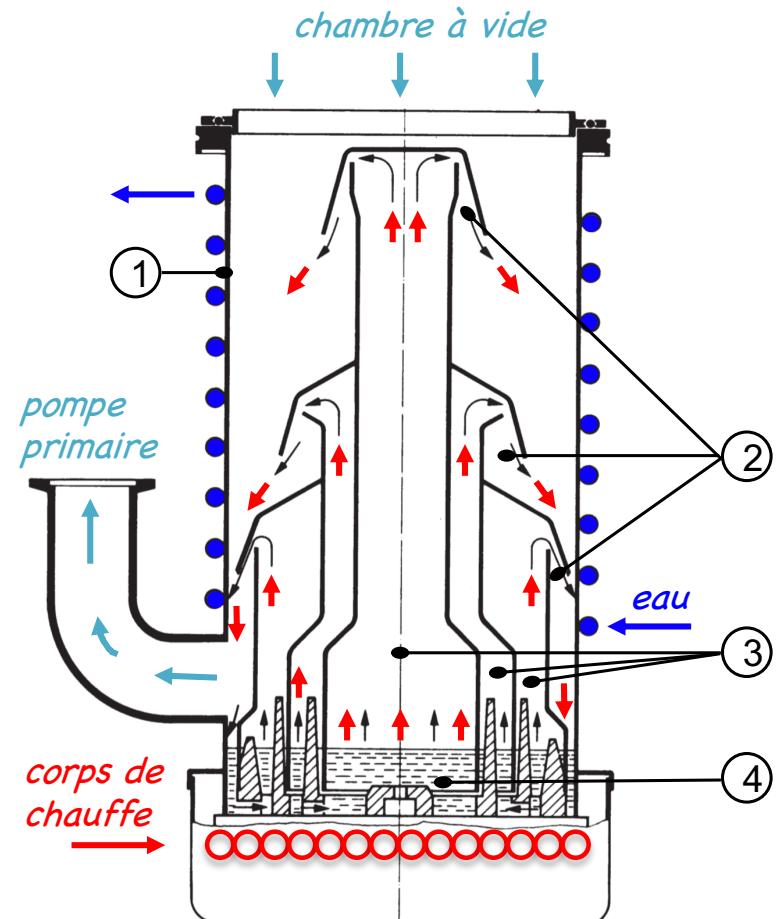
La pompe continue à expulser air et vapeur.

## Pompe à diffusion (à jet de vapeur)

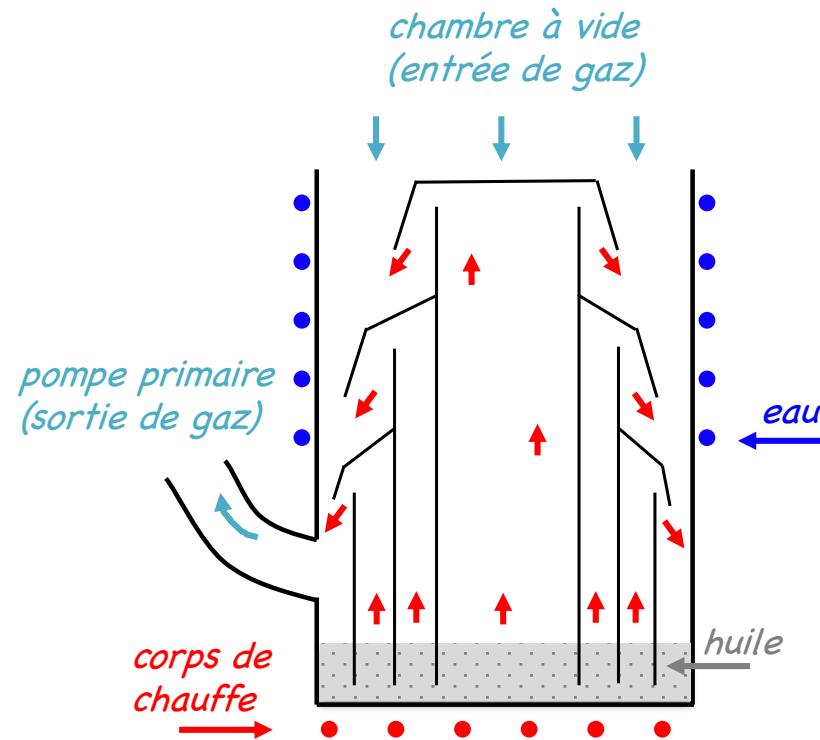
- vide secondaire:  $10^{-2} – 10^{-9}$  mbar  
necessite une pompe primaire!
- débit: de quelques l/s à 20000 l/s
- utilisation: pompe très robuste, bon marché à l'achat et à l'entretien  
grande espérance de vie et peu de maintenance  
demande du soin dans l'utilisation, ou des protocoles précis  
grosses consommation d'eau et d'électricité  
pompe à huile, sujettes à polluer par des hydrocarbures ; nécessité de pièges
- Pompage par transfert d'énergie cinétique entre des molécules lourdes de vapeur d'huile à grande vitesse et les molécules du gaz à pomper

# Pompe à diffusion

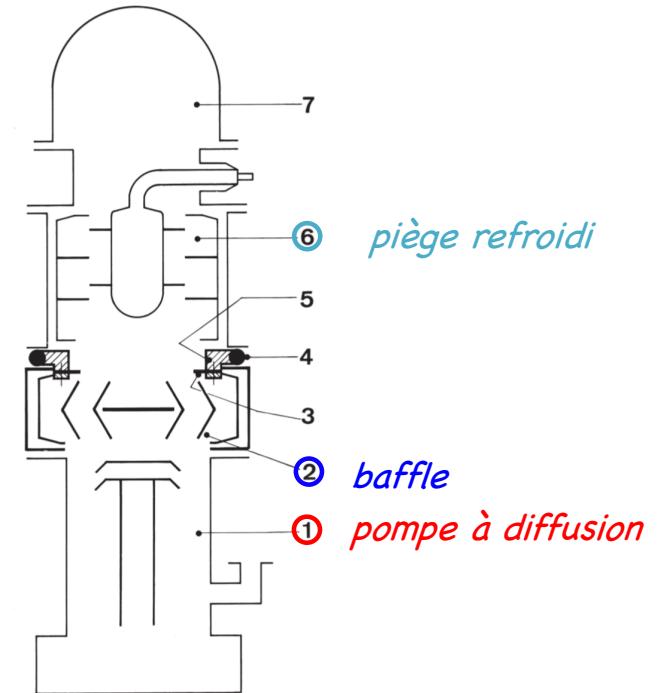
Les pompes à diffusion se composent d'un corps de pompe (1), dont le fond peut être chauffé et la paroi refroidie, et d'un équipage intérieur à plusieurs étages de tuyères (3). Le fluide moteur, logé dans la chaudière (4), est chauffé électriquement et vaporisé. La vapeur de fluide moteur s'élève dans la colonne (3) pour sortir par les déflecteurs (2) à une vitesse supersonique. Les collisions entre les molécules lourdes d'huile et les molécules légères de gaz orientent les molécules de gaz vers la sortie de la pompe où le gaz est repris par une pompe primaire. Le fluide moteur se condense ensuite sur la paroi et recoule comme fine pellicule dans la chaudière.



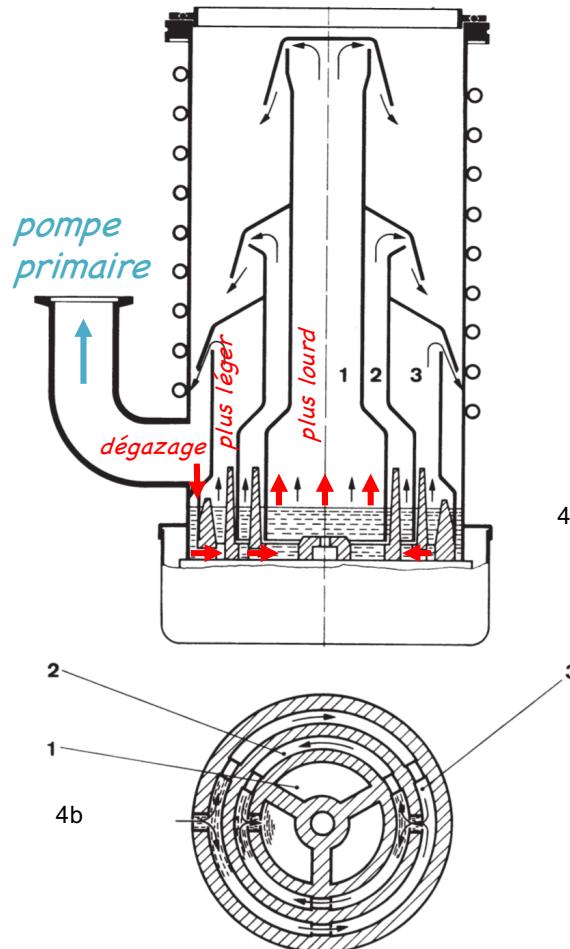
# Pompe à diffusion



DISPOSITIF D'ARRET D'HUILE



# Système de fractionnement de l'huile



- Le dégazage libère en permanence l'huile des impuretés facilement volatiles pour les céder à la pompe primaire. Il a lieu dans la zone au-dessous de l'étage inférieur, à une température d'environ 130° C, à laquelle, les éléments facilement volatils s'évaporent et sont aspirés par la pompe primaire.
- Après dégazage de l'huile les éléments du fluide moteur les plus faciles à évaporer sont conduits vers la première tuyère, côté vide primaire, et les plus difficiles à évaporer vers la dernière tuyère, côté vide moléculaire.

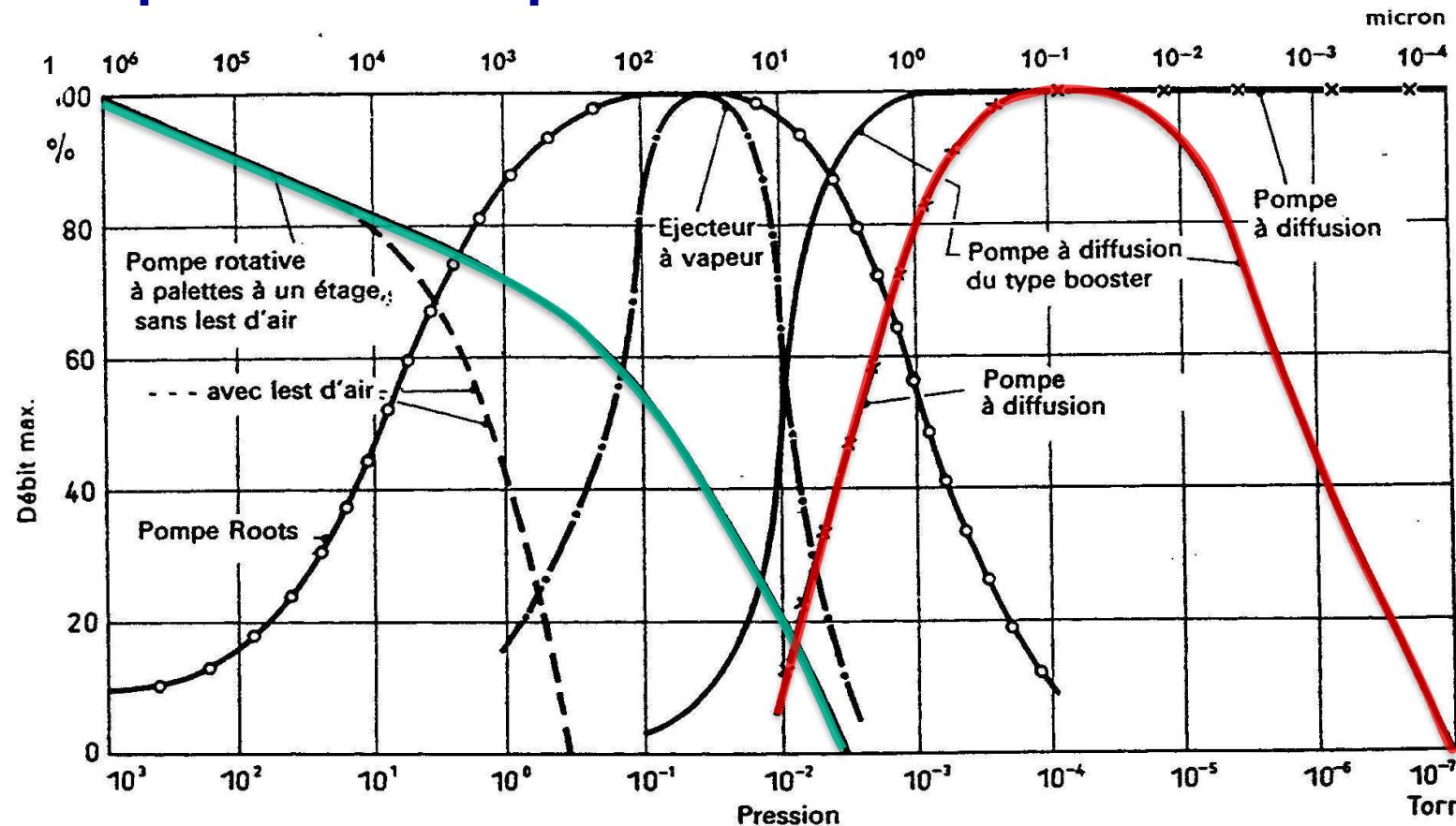
Vue schématique de la chaudière d'une pompe à diffusion fractionnante

- 1 Chambre d'évaporation intérieure
- 2 Chambre d'évaporation médiane
- 3 Chambre d'évaporation extérieure
- 4 Dispositif de fractionnement (vu d'en dessous 4b) avec représentation des courants d'huile

## Pompe à diffusion



## Zone d'emploi économique

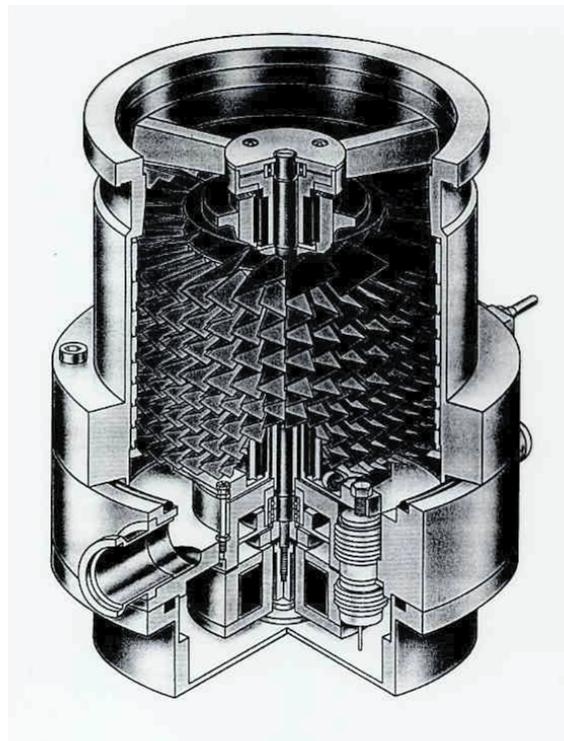


Caractéristiques de la zone d'emploi économique de divers types de pompes en fonction de leur débit

## Pompe turbomoléculaire

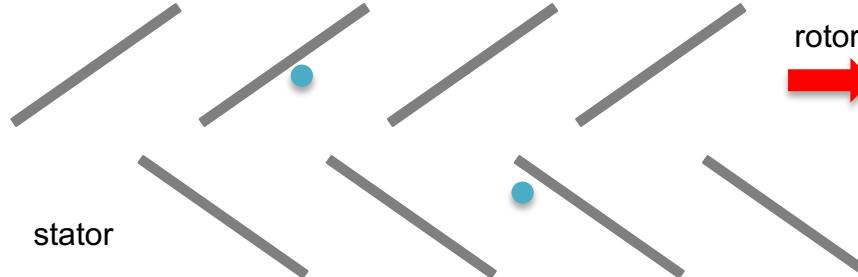
- vide secondaire:  $10^{-2} – 10^{-9}$  mbar  
necessite une pompe primaire!
- débit: de 50 l/s à 2000 l/s
- utilisation: pompe propre, sans hydrocarbures  
cher à l'achat, mais économique à l'usage  
demande du soin dans l'utilisation, ou des protocoles précis  
sensible aux champs magnétiques intenses
- Pompage par empilement d'étages rotor et stator, privilégiant le déplacement des molécules dans le sens du pompage

# Pompe turbomoléculaire



Composée d'un empilement de stators et rotors à ailettes, tournant à grande vitesse, et imposant aux molécules la direction vers la sortie.

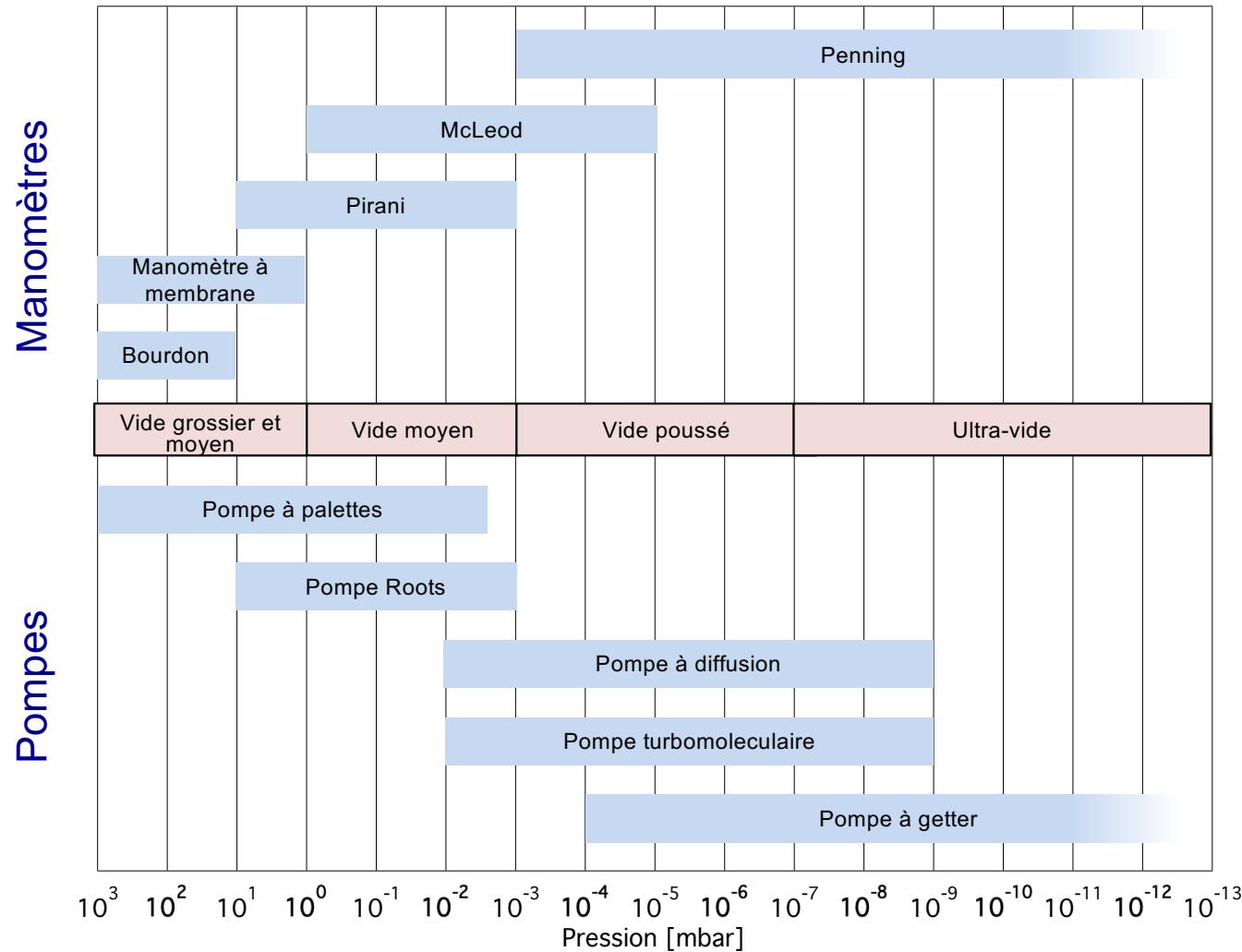
- écartement entre disques de 1 mm
- 16000 tours/min
- rapport de compression  $\sim 5 \cdot 10^7$



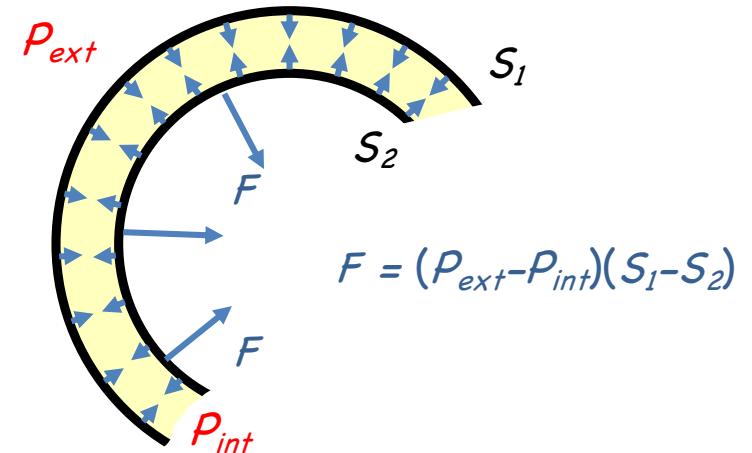
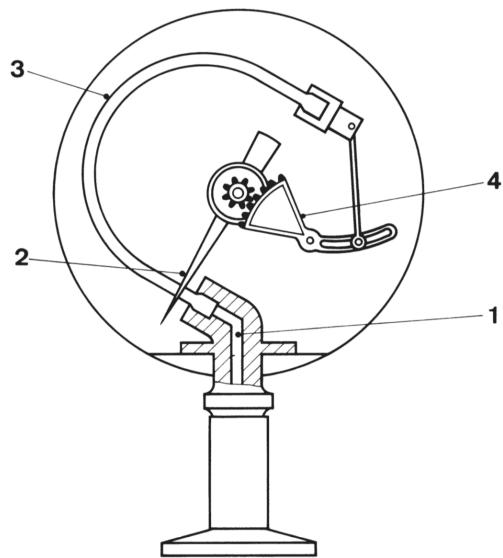
## Pompe turbomoléculaire



# Production et mesure du vide

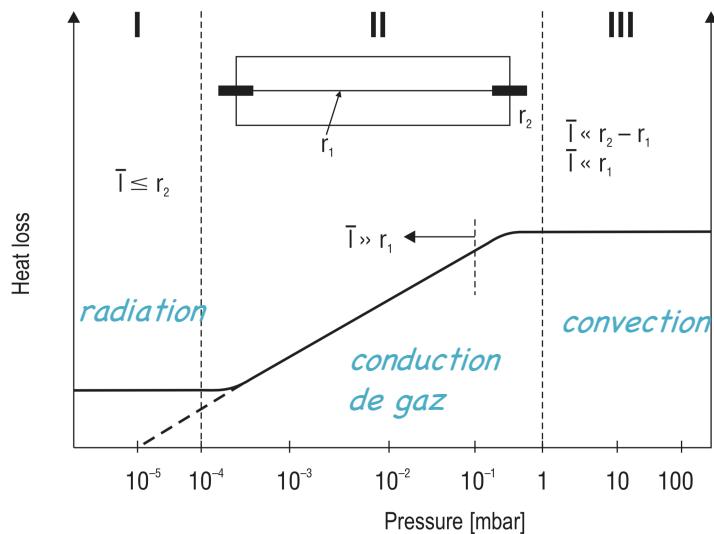


## Manomètre mécanique: Manomètre Bourdon



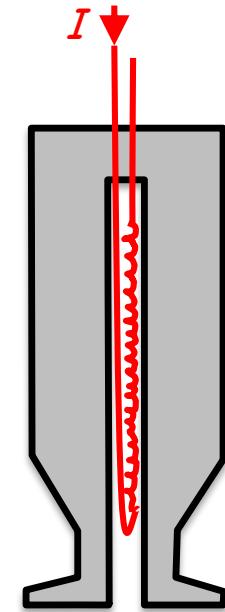
- vide grossier >1 Torr
- sous l'effet de la différence de pression le rayon de courbure du tube (3) diminue.
- ce mouvement est amplifié par le système de levier (4) et transmis à une aiguille indicatrice (2)
- ne dépend pas de la nature du gaz!

# Manomètre électrique: Jauge Pirani



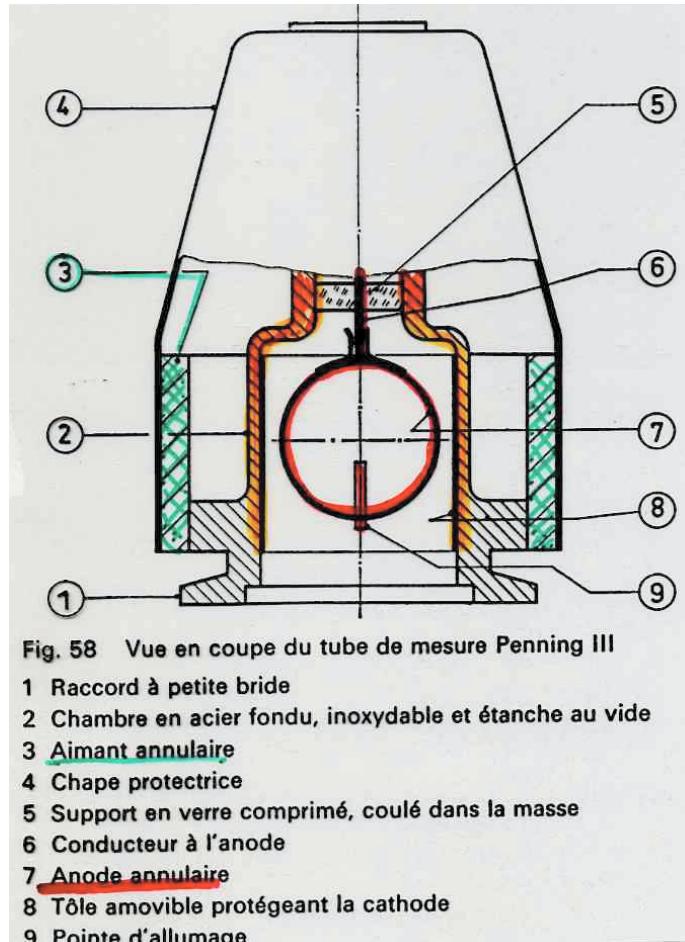
fil chauffé  
par effet Joule

$$\begin{aligned}\lambda &= \lambda(P) \\ T &= T(\lambda) = T(P) \\ R &= R(T) = R(P)\end{aligned}$$

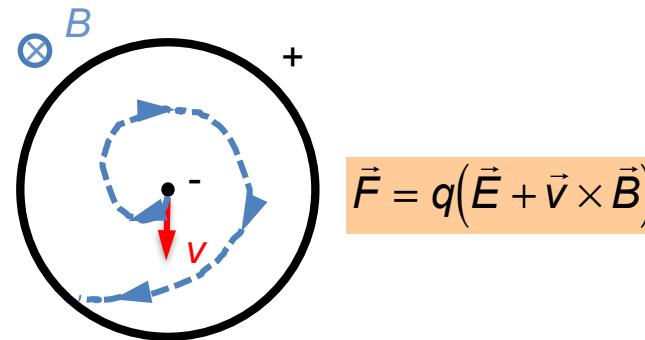


- vide moyen  $10 - 10^{-3}$  mbar
- mesure indirecte, la pression influence la quantité de chaleur perdue par le filaments par suite de la conduction gazeuse vers le paroi qui agit comme un réservoir thermique, la température du fil chaud est déterminée par l'intermédiaire de sa résistance électrique
- dépend de la nature du gaz!

# Manomètre à ionisation à cathode froide: Jauge Penning



- vide poussé <10<sup>-3</sup> mbar



- la tension anode – cathode ~ 2 kV cause l'ionisation du gaz
- le courant d'ionisation dépend de la pression
- le parcours des électrons est allongé par un champ magnétique produit par un aimant permanent
- dépend de la nature du gaz!