



Institut d'Optique Théorique et Appliquée

Ecole supérieure d'optique

Techniques du vide

3^{ème} année

I – GRANDEURS CARACTERISTIQUES	5
1 – PRESSION P.....	5
2 – LE FLUX GAZEUX Q.....	6
3 – LA CONDUCTANCE C	6
4 – VITESSE DE POMPAGE.....	7
5 – PETIT CALCUL	7
II – REGIME D’ECOULEMENT	8
III – CALCULS D’INSTALLATION	9
1 – REGIME PERMANENT	9
2 – REGIME TRANSITOIRE	10
1 – <i>Prévidage</i>	10
2 – <i>Pompage secondaire</i>	11
IV – LES POMPES	11

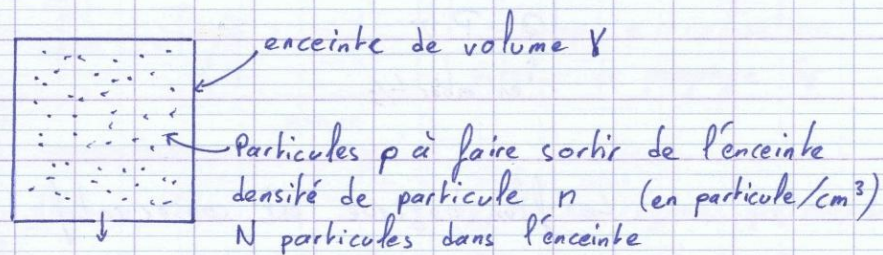
Les techniques du vide.

Plan:

- I. Grandeurs caractéristiques
- II. Régimes d'écoulement
- III. Calculs d'installation.
- IV. Les pompes.
- V. Mesure.

I. Grandeurs caractéristiques.

1) Pression P.



Origine de la pression: vitesse des particules. La pression est la quantité de mouvement cédée de la particule à l'enceinte.

De ce fait, la pression est une fonction de n et de l'agitation thermique à la température T

$$\boxed{P = n k T}$$

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23}$$

vu que $n = \frac{N}{V}$

$$\boxed{PV = N k T}$$

AN: à $P = 1 \text{ bar}$, $\left\{ \begin{array}{l} n = 1,4 \cdot 10^{19} \text{ p/cm}^3 \\ \text{Libre parcours moyen: } 7 \cdot 10^{-6} \text{ cm.} \end{array} \right.$

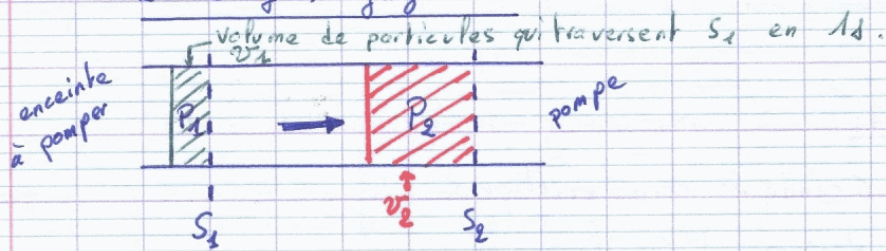
à $P = 10^{-6} \text{ mbar}$, $\left\{ \begin{array}{l} n = 3,2 \cdot 10^{10} \text{ p/cm}^3 \\ \text{Libre parcours moyen: } 5,3 \cdot 10^3 \text{ cm} \end{array} \right.$

→ Vide classique
mauvaise qualité

en industrie, typiquement, $P = 10^{-9} \text{ mbar}$

Le record: $P = 10^{-14} \text{ mbar}$.

2. Le flux gazeux Q .



Débit volumique : v_1 en L/s

En se rapprochant de la pompe :

P diminue $P_2 < P_1$

Débit volumique $v_2 > v_1$

$$P_1 v_1 = P_2 v_2 = NkT$$

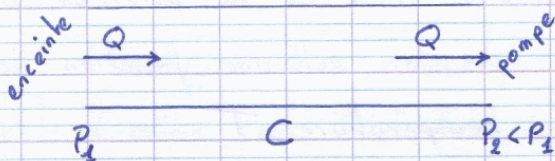
Par définition, le flux gazeux est donné par

$$Q = P v$$

↑ en mbar L/s

Le flux gazeux est conservatif.

3. La conductance C



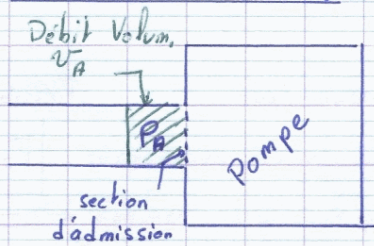
Conductance = ce qui caractérise l'écoulement dans la canalisation (se fait-il facilement ?)

$$Q = C \cdot \Delta P$$

↑ en L/s.

Elle dépend des dimensions géométriques de la canalisation (diamètre, longueur), température, du régime d'écoulement.

4. Vitesse de pompage.



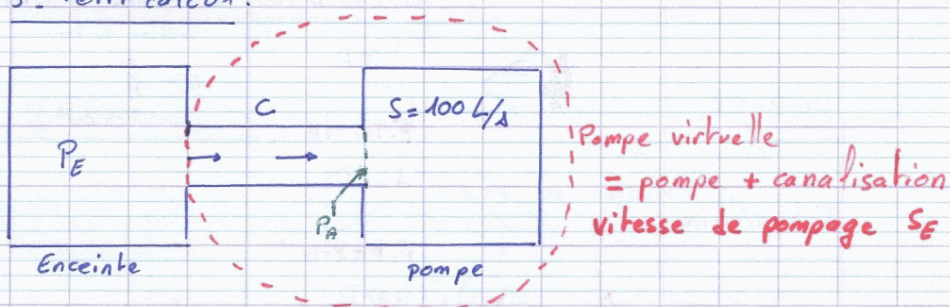
Vitesse de pompage S

$$S = v_A.$$

Flux gazeux: $Q = P v$. D'où

$$Q = P_A S$$

5. Petit calcul.



on veut diminuer P_E

$$Q = P_A S = C (P_E - P_A)$$

$$Q = P_E S_E$$

hypothèse: régime permanent.

3 phénomènes limitent le vide obtenu.

- fuites
 - dégazage des parois de l'enceinte
 - Processus mis en œuvre (dépôt, ...)
- } $\Rightarrow$ il arrive un moment où P_E ne peut plus diminuer

Pour diminuer P_E , il faut que S_E soit le plus grand possible

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{S_E} - \frac{1}{S} \quad \Rightarrow \quad \boxed{\frac{1}{S_E} = \frac{1}{C} + \frac{1}{S}}$$

En général, on choisit C tel que $C \ll S$

AN: $C = 2 \text{ L/s}$

$C = 100 \text{ L/s}$

$$\frac{1}{S_E} = \frac{1}{2} + \frac{1}{100} \Rightarrow S_E = 2 \text{ L/s} \ll S$$

$$\frac{1}{S_E} = \frac{2}{100} \Rightarrow S_E = 50 \text{ L/s}$$

II. Régimes d'écoulement.

Libre parcours moyen donné par

$$\lambda = \frac{6,6 \cdot 10^{-3}}{P}$$

cm. mbar

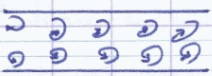
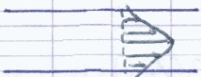
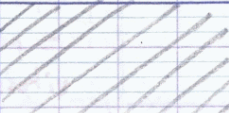
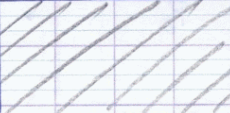
Pression moyenne

$$\bar{P} = \frac{P_1 + P_2}{2}$$

L

P₁ P₂

D

Régime.		λ	Conductance. (air à 20°C)	
			diaphragme	tube
Turbulent		$\lambda \ll D$ $Q > 250 \frac{cm^3}{s}$	Régime fugitif pour les techniques du vide. Au début du pompage	
Laminaire		$\lambda \ll D$ $\bar{P} \cdot D = 0,5$	section du trou 20 A en cm ²	$137 \frac{D^4}{L} \bar{P}$
Intermédiaire		$\lambda \approx D$ $\bar{P} \cdot D = 2 \cdot 10^{-2}$		dans les tables $12,1 \frac{D^3}{L} \bar{P}$
Moléculaire		$\lambda \gg D$	11,6 A	$1,21 \frac{D^3}{L} \bar{P}$

↑
en rouge: limite
entre les différents
régimes.

Remarque: dans l'écoulement laminaire, les particules vont toutes dans le même sens. Dans l'écoulement moléculaire, les particules rebondissent sur les parois du tube; elles ont une certaine probabilité de ne pas être pompée. Le cas intermédiaire est un mélange de ces deux écoulements.

Pour un gaz quelconque

$$C = C_{air} \sqrt{\frac{29}{M}}$$

↑
masse molaire

A une température quelconque:

$$C_T = C_{20°C} \sqrt{\frac{T}{293}}$$

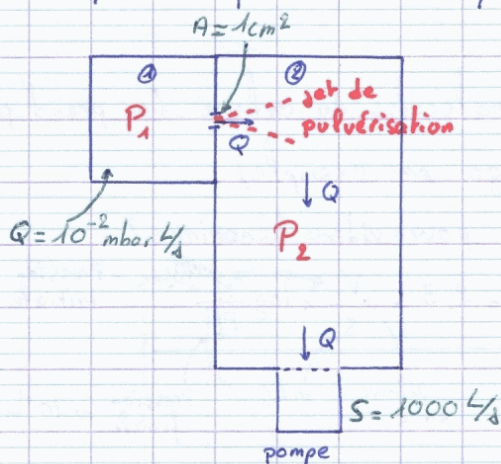
→ Kelvin.

III. Calculs d'installation.

But: Peut-on obtenir la pression voulue? Au bout de combien de temps?

1. Régime permanent.

Exemple: la pulvérisation cônica.



Enceinte ①: injection de plasma.

Enceinte ②: Sous vide.

But: calculer P_1 et P_2 .

hypothèse: Pression homogène dans chaque enceinte.

$$Q = P_2 S$$

$$P_2 = \frac{Q}{S} = 10^{-5} \text{ mbar.}$$

$$Q = C(P_1 - P_2) \quad \text{Pour calculer } C, \text{ quel régime d'écoulement utiliser?}$$

Il faut faire une hypothèse sur le régime d'écoulement. On considère que l'écoulement est moléculaire

$$\Rightarrow C = 11,6 A \sim 12 \text{ L/s.}$$

$$P_1 = P_2 + \frac{Q}{C} \sim 10^{-3} \text{ mbar}$$

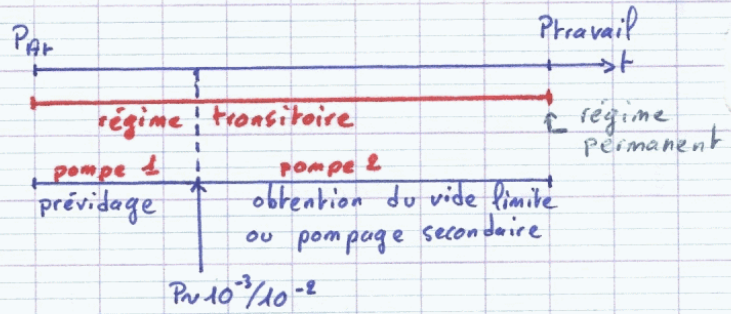
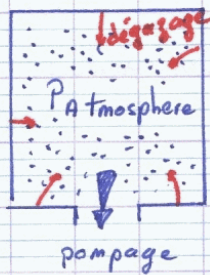
Rq: Malgré le trou de 1 cm^2 , on trouve 2 pressions P_1 et P_2 très différentes.

Il faut vérifier l'hypothèse de régime moléculaire

$$\bar{P} = \frac{P_1 + P_2}{2} \sim 5 \cdot 10^{-4} \text{ mbar}$$

$$\bar{P} \cdot D \sim 5 \cdot 10^{-4} \ll 2 \cdot 10^{-2} \quad \text{L'écoulement est bien moléculaire.}$$

2. Régime transitoire.



Etapes :

• 1. Prévidage.

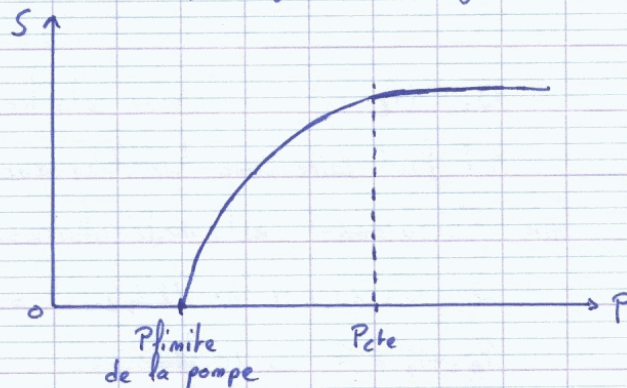
Vide les molécules du volume (ne prend pas en compte le dégazage par exemple)

Quel temps pour vider l'enceinte ?

$$t = 2,3 \times \frac{V}{S} \times \log \frac{P_i}{P_f}$$

temps en s
 Volume en L
 en $1/s$
 Pression initiale = P_{at}
 Pression finale $\sim 10^{-1}$ mbar

La vitesse de pompage suit ce genre de courbe.



Si $P_f < P_{cpe}$, S ne peut plus être considéré comme constant et la formule précédente n'est plus valable.

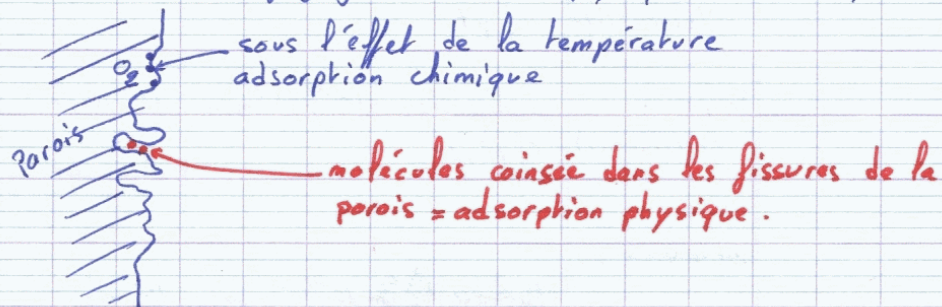
On utilise alors des abaques. (cf poly p4)

Rq: toutes les pompes de prévidage ont la même caractéristique. c'est pourquoi l'abaque est valable.

2. Pompage secondaire.

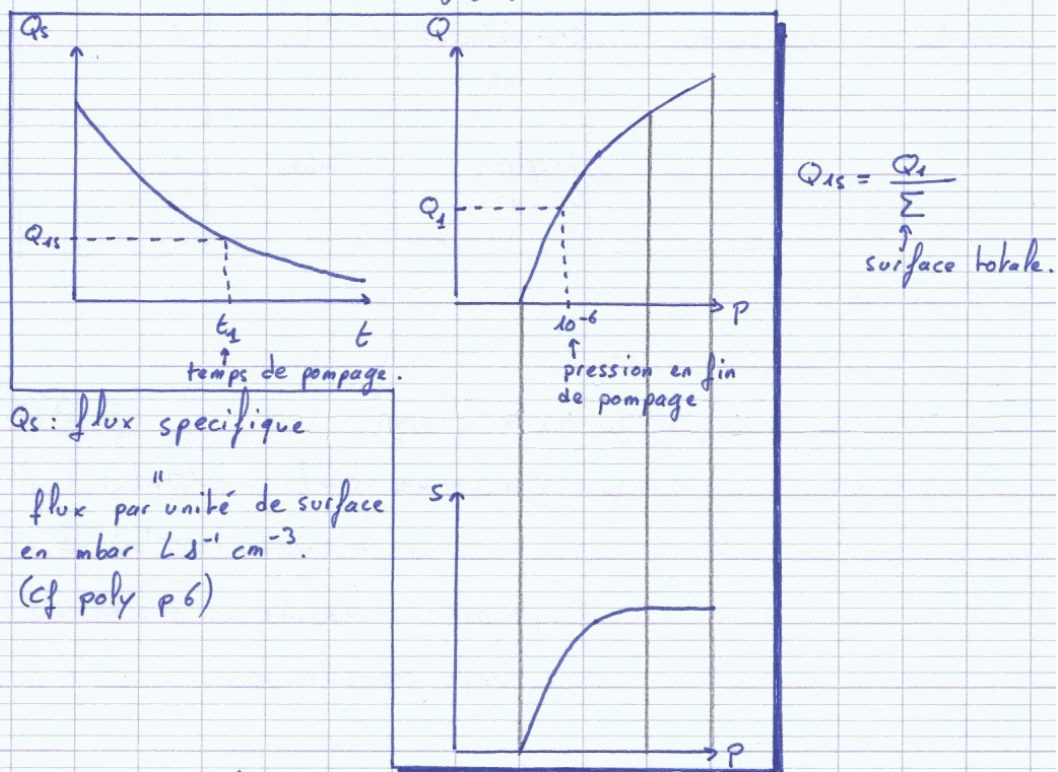
But: pomper le dégazage des parois de l'enceinte.

Mécanisme de dégazage: adsorption physique et chimique.



Il faut choisir le matériaux pour peu adsorber, et donc peu désorber.

Au cours du temps, le dégazage va diminuer



Pour changer les temps de pompage, il faut changer de pompe

IV. Les pompes.

Il y a 3 familles de pompes.

famille	type	P _{finale}	Prélevement	Remarque
Pompe Volumétrique	à Palette cf p 7,8	10^{-3} mbar	$P_{at} = 1 \text{ bar}$	Pompe de prévidage. Problème de pollution avec l'huile.
Pompe à entraînement	à diffusion cf p 9,10	$10^{-8}/10^{-3}$ mbar	10^{-2} mbar	Pompage secondaire. Avantage: Pas de mécanique qui bouge Problème: Pollution par l'huile
	turbomoléculaire cf p 14	$10^{-8}/10^{-3}$ mbar	10^{-2} mbar	pompes chères et fragiles. pompe difficilement les gaz légers Pas de pollution par l'huile.
Pompe par condensation	cryogénique cf p 12,11	10^{-11} mbar	Ø	Problème de l'utilisation d'azote liquide
	Cryogénérateur cf p 11,12	10^{-11} mbar	Ø	Pompe propre.
	Sorption cf p 13	10^{-3} mbar	Ø	Prévidage propre.

Processus de vide idéal:

① - Prévidage

a. pompe sèche 10 mbar

b. pompe à sorption 10^{-2} mbar

② - pompage secondaire

pompe cryogénérateur