



www.cnrs.fr



www.rtvide.cnrs.fr



www.sorbonne-universite.fr



www.lcpmr.cnrs.fr

Théorie & Effet de la température

5^{ème} École technologique du RTVide

Toulouse – 19-22 juin 2023

Romain JARRIER



Sommaire

- ① Introduction
- ② Grandeurs caractéristiques
 - Effet globale sur la pression
 - Autres grandeurs
- ③ Pression
 - Généralité
 - Conductance et pompage
 - Les flux
- ④ Programme

Sommaire

1 Introduction

2 Grandeurs caractéristiques

- Effet globale sur la pression
- Autres grandeurs

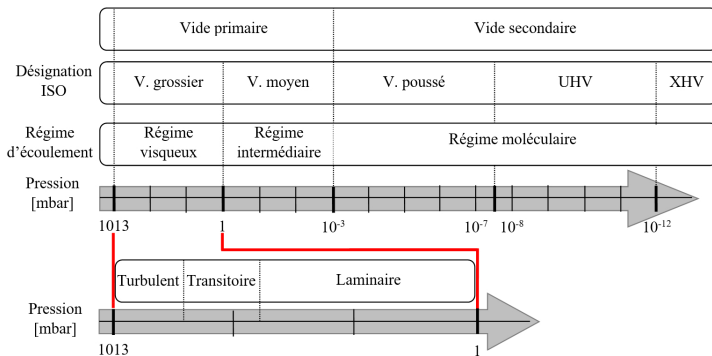
3 Pression

- Généralité
- Conductance et pompage
- Les flux

4 Programme

Domaine des régimes d'écoulements

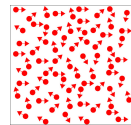
Pour un diamètre donné :



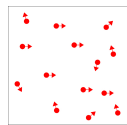
Définitions :

Régime visqueux : chocs molécules-molécules prépondérants (a)

Régime moléculaire : chocs molécules-parois prépondérants (b)



(a)



(b)

Détails de la présentation

La présentation ne concerne que le flux moléculaire

Toutes les unités sont en SI

Sauf la pression :

- Soit des [Pa] ($\equiv [\text{N}\cdot\text{m}^{-2}] \equiv [\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-2}]$) pour le SI
- Soit des [mbar] (= 100 Pa) par commodité

Les unités seront donc :

- Longueur : [m] ; Surface : [m^2] ; Volume : [m^3]
- Masse : [kg]
- Temps : [s]
- Quantité de matière : [mol]
- Température : [K]
- Énergie : [J] \equiv [N.m] \equiv [$\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2}$]

Sommaire

- ① Introduction
- ② Grandeurs caractéristiques
 - Effet globale sur la pression
 - Autres grandeurs
- ③ Pression
 - Généralité
 - Conductance et pompage
 - Les flux
- ④ Programme

Sommaire

- 1 Introduction
- 2 Grandeurs caractéristiques
 - Effet globale sur la pression
 - Autres grandeurs
- 3 Pression
 - Généralité
 - Conductance et pompage
 - Les flux
- 4 Programme

Les essentiels

Depuis l'équation de base :

P : Pression [Pa]

V : Volume [m³]

n : Quantité de matière [mol]

R : Constante des gaz parfaits = 8.314 J.mol⁻¹.K⁻¹

T : Température [K]

$$PV = nRT$$

(1)

Si T augmente → P augmente (Si V et n constants)

Pourquoi ?

La pression est due à la force d'impact des molécules sur les parois

Si la pression augmente, la force d'impact augmente elle aussi

↪ La masse des molécules ne change pas

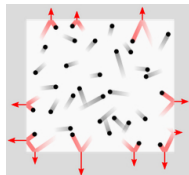
↪ Cela sous-entend que la vitesse moléculaire augmente

E : Énergie [J]

m : Masse de la molécule [kg]

v : Vitesse de la molécule [m.s⁻¹]

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \quad (2)$$



Vitesse moléculaire

C'est ce que nous indique la distribution de Maxwell-Boltzmann

$$\frac{dN}{N} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{m}{2k_B T} \right)^{3/2} v^2 \exp \left[\frac{-mv^2}{2k_B T} \right] dv \quad (3)$$

$$m = \frac{M}{\mathcal{N}_a}$$

N : Densité moléculaire [molécule.m⁻³]

m : Masse de la molécule [kg]

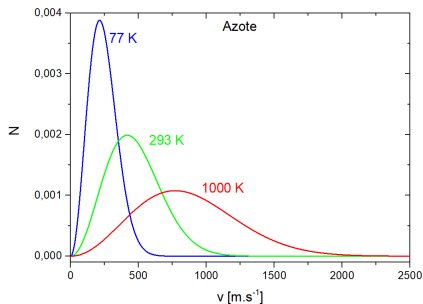
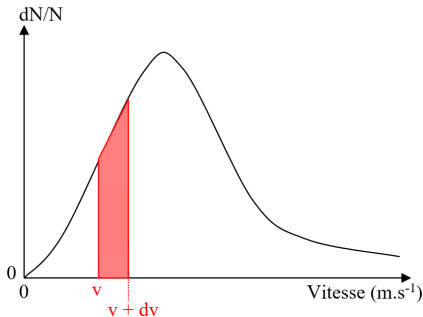
k_B : Constante de Boltzmann : $1,38 \times 10^{-23}$ J.K⁻¹

T : Température [K]

v : Vitesse des molécules [m.s⁻¹]

M : Masse molaire [kg.mol⁻¹]

(4) \mathcal{N}_a : Constante d'Avogadro : $6,02 \times 10^{23}$ mol⁻¹



Vitesse moléculaire - Valeurs

De cette formule, nous retirons des vitesses caractéristiques

$$\frac{dN}{N} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{m}{2k_B T} \right)^{3/2} v^2 \exp \left[\frac{-mv^2}{2k_B T} \right] dv \quad (3)$$

Vitesse la plus probable

$$v_p = \sqrt{\frac{2RT}{M}} \quad (5)$$

Vitesse moyenne

$$v_m = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} \quad (6)$$

N : Densité moléculaire [molécule.m⁻³]

m : Masse de la molécule [kg]

k_B : Constante de Boltzmann : $1,38 \times 10^{-23}$ J.K⁻¹

T : Température [K]

v : Vitesse des molécules [m.s⁻¹]

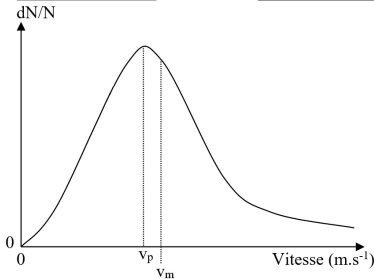
v_p : Vitesse la plus probable [m.s⁻¹]

R : Constante des gaz parfaits : $8,314$ J.mol⁻¹.K⁻¹

M : Masse molaire [kg.mol⁻¹]

v_m : Vitesse moyenne [m.s⁻¹]

Avec $v_m > v_p$



Molécule	M	Type de vitesse	Vitesse [m.s ⁻¹]		
			77 K	293 K	500 K
Ar	40.10 ⁻³	- $\frac{v_p}{v_m}$ -	179	349	456
			202	394	514
O ₂	32.10 ⁻³	- $\frac{v_p}{v_m}$ -	200	390	510
			226	440	575
N ₂	28.10 ⁻³	- $\frac{v_p}{v_m}$ -	214	417	545
			241	471	615
H ₂ O	18.10 ⁻³	- $\frac{v_p}{v_m}$ -	267	520	680
			301	587	767
He	4.10 ⁻³	- $\frac{v_p}{v_m}$ -	566	1104	1442
			638	1245	1627
H ₂	2.10 ⁻³	- $\frac{v_p}{v_m}$ -	800	1561	2039
			903	1761	2301

Évolution de la pression

$$PV = nRT = n \times \mathcal{N}_a \times \frac{R}{\mathcal{N}_a} \times T = \mathcal{N} \times k_B \times T \Leftrightarrow P = \frac{\mathcal{N} k_B T}{V}$$

$$\Leftrightarrow \boxed{P = N k_B T} \quad (7)$$

La pression est une fonction linéaire de la température

$$(7) \Leftrightarrow \boxed{N = \frac{P}{k_B T}} \quad (8) \quad \begin{array}{l} N \text{ ne varie pas avec } T \\ \text{Si - parois indéformables} \\ \text{- pas de dégazage, de diffusion...} \end{array}$$

$$\boxed{\mathcal{N} = n \times \mathcal{N}_a}$$

$$\boxed{k_B = \frac{R}{\mathcal{N}_a}}$$

$$\boxed{N = \frac{\mathcal{N}}{V}}$$

$$(9) \quad \left\{ \begin{array}{l} P : \text{Pression [Pa]} \\ V : \text{volume [m}^3\text{]} \\ n : \text{Quantité de matière [mol]} \\ R : \text{Constante des gaz parfaits} = 8.314 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1} \\ T : \text{Température [K]} \\ \mathcal{N}_a : \text{Constante d'Avogadro} : 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} \\ \mathcal{N} : \text{Nombre de molécules [molécule]} \end{array} \right.$$

$$(10)$$

$$(11) \quad \left\{ \begin{array}{l} k_B : \text{Constante de Boltzmann} : 1,38 \times 10^{-23} \text{ J}\cdot\text{K}^{-1} \\ N : \text{Densité moléculaire [molécule}\cdot\text{m}^{-3}\text{]} \end{array} \right.$$

Sommaire

- 1 Introduction
- 2 Grandeurs caractéristiques
 - Effet globale sur la pression
 - Autres grandeurs
- 3 Pression
 - Généralité
 - Conductance et pompage
 - Les flux
- 4 Programme

Nombre de Knudsen - Libre parcours moyen

La limite des régimes d'écoulement est défini par le nombre de Knudsen : K_n

$$K_n = \frac{\lambda}{d} \quad (12)$$

$$\lambda = \frac{1}{\pi\sqrt{2}\sigma^2N} \quad (13)$$

K_n : Nombre de Knudsen (sans unité)

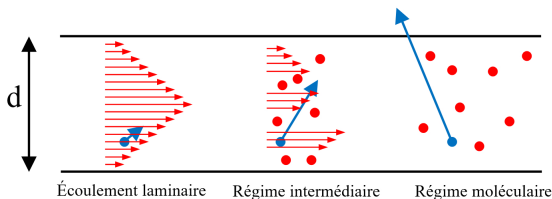
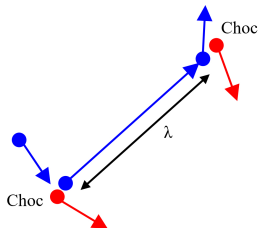
λ : Libre parcours moyen [m]

d : Diamètre de la canalisation [m]

σ : Diamètre de la molécule [m]

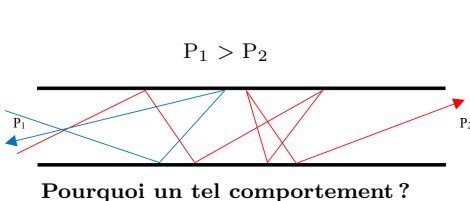
N : Densité moléculaire [molécule.m⁻³]

- $K_n < 0,01$: écoulement laminaire
- $0,01 < K_n < 1$: régime intermédiaire (de Knudsen)
- $K_n > 1$: régime moléculaire



N ne varie pas avec $T \rightarrow \lambda$ ne varie pas avec T

Interactions molécules-paroi



1 : Incidence



3 : Réémission



2 : Adsorption



Angle de réémission

$$\tau = \tau_0 \exp \left[\frac{E_d}{RT} \right] \quad (14)$$

τ : Temps de collage [s]

τ_0 : Période d'oscillation perpendiculaire à la surface (10^{-12} à 10^{-14} s)

E_d : Chaleur d'adsorption de la molécule sur la surface [$\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$]

R : Constante des gaz parfaits : $8,314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

T : Température [K]

La valeur de E_d dépend de la nature de la molécule et de la paroi

Pour une valeur de E_d fixe, en fonction de la température :

Exemple de l'eau sur l'inox ($\tau_0 = 10^{-13}$ s ; $E_d = 20 \text{ kcal} \cdot \text{mol}^{-1} = 83,68 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$)

- 77 K : $\tau = 5,86 \cdot 10^{43}$ s ($1,86 \cdot 10^{36}$ années) → **Principe de la pompe cryogénique**
- 293 K : $\tau = 83$ s
- 473 K (200°C) : $\tau = 1,74 \cdot 10^{-4}$ s → **Principe de l'étuvage**

Sommaire

1 Introduction

- ## 2 Grandeurs caractéristiques
- Effet globale sur la pression
 - Autres grandeurs

- ## 3 Pression
- Généralité
 - Conductance et pompage
 - Les flux

4 Programme

Sommaire

- 1 Introduction
- 2 Grandeurs caractéristiques
 - Effet globale sur la pression
 - Autres grandeurs
- 3 Pression
 - Généralité
 - Conductance et pompage
 - Les flux
- 4 Programme

Formule de la pression

$$P = \left(P_{ini} + P_{lim} + \frac{Q_t}{S_{eff}} \right) \times \exp \left[\frac{-S_{eff}}{V_{tot}} t \right] + \frac{Q_t}{S_{eff}} + P_{lim} \quad (15)$$

P : pression [mbar]

P_{ini} : Pression initiale [mbar]

P_{lim} : Pression limite de la pompe [mbar]

Q_t : Flux entrant total [mbar.m³.s⁻¹]

S_{eff} : Vitesse de pompage effective au niveau de l'enceinte à vide [m³.s⁻¹]

V_{tot} : Volume total [m³]

t : temps [s]

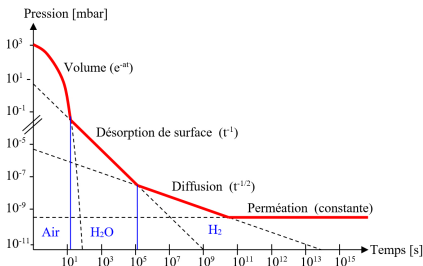
Partie conductance et pompe

Partie flux

Partie instrumentale

Cas limite : $t \rightarrow +\infty$ et $P_{lim} = 0$:

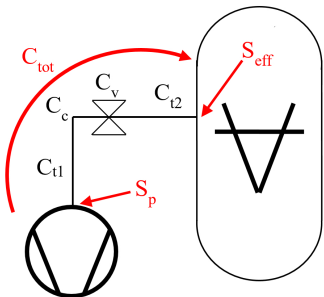
$$P = \frac{Q_t}{S_{eff}} \quad (16)$$



Sommaire

- 1 Introduction
- 2 Grandeurs caractéristiques
 - Effet globale sur la pression
 - Autres grandeurs
- 3 Pression
 - Généralité
 - Conductance et pompage
 - Les flux
- 4 Programme

Vitesse de pompage effective & Conductance totale



C_{tot} : Conductance totale de la canalisation [$m^3.s^{-1}$]

S_p : Vitesse de pompage nominale de la pompe [$m^3.s^{-1}$]

S_{eff} : Vitesse de pompage effective [$m^3.s^{-1}$]

C_{ti} : Conductance du tube i [$m^3.s^{-1}$]

C_c : Conductance du coude [$m^3.s^{-1}$]

C_v : Conductance de la vanne [$m^3.s^{-1}$]

C_i : Conductance de l'élément i [$m^3.s^{-1}$]

$$\frac{1}{S_{eff}} = \frac{1}{S_p} + \frac{1}{C_{tot}} \quad (17)$$

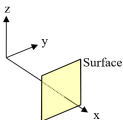
$$\frac{1}{C_{tot}} = \frac{1}{C_{t1}} + \frac{1}{C_c} + \frac{1}{C_v} + \frac{1}{C_{t2}}$$

De manière formelle :

$$\frac{1}{C_{tot}} = \sum_{i=1}^{i=x} \frac{1}{C_i} \quad (18)$$

Taux d'incidence

La vitesse va influencer le taux d'incidence



$$\nu = A \frac{N v_m}{4} \quad (19)$$

A : Surface [m²]

ν : Taux d'incidence [molécule.s⁻¹]

N : Densité moléculaire [molécule.m⁻³]

v_m : Vitesse moyenne [m.s⁻¹]

Or :

$$N = \frac{P}{k_B T} \quad (8)$$

N : Densité moléculaire [molécule.m⁻³]

P : Pression [Pa]

k_B : Constante de Boltzmann : $1,38 \times 10^{-23}$ J.K⁻¹

T : Température [K]

v_m : Vitesse moyenne [m.s⁻¹]

R : Constante des gaz parfaits : $8,314$ J.mol⁻¹.K⁻¹

M : Masse molaire [kg.mol⁻¹]

$$v_m = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} \quad (6)$$

Donc :

$$\nu = \frac{A P}{4 k_B T} \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} = \frac{A \times P}{4 k_B T} \sqrt{\frac{8 k_B \cancel{\mathcal{N}}_a T}{\pi m \cancel{\mathcal{N}}_a}} = \frac{A \times P}{k_B T} \sqrt{\frac{8 k_B T}{\pi m \times 16}} = \frac{A \times P}{k_B T} \sqrt{\frac{k_B T}{2 \pi m}}$$

\mathcal{N}_a : Constante d'Avogadro : $6,02 \times 10^{23}$ mol⁻¹

m : Masse de la molécule [kg]

Conductance d'un orifice

La conductance est déterminée par le taux d'incidence

$$\begin{aligned} Q_t &= Q_1 - Q_2 \\ &= C_o \times \Delta P = C_o \times (P_1 - P_2) \end{aligned} \quad (20)$$

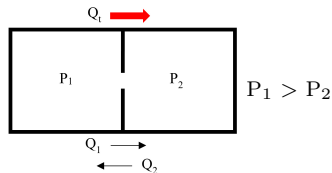
$$\Leftrightarrow C_o = (Q_1 - Q_2)/(P_1 - P_2)$$

Et :

$$Q_i = \nu_i \times k_B T \quad (21)$$

Finalement :

$$C_o = A_o \sqrt{\frac{k_B T}{2\pi m}} \quad (22) \Rightarrow \quad 293 \text{ K, air :}$$



$$\nu_i = \frac{A \times P_i}{k_B T} \sqrt{\frac{k_B T}{2\pi m}} \quad (19)$$

$$C_o = 116 \times A_o \quad (23)$$

(= 11,6 × A_o en unité CGS)

P_i : Pression de la chambre i [mbar]

Q_t : Flux total [mbar.m³.s⁻¹]

Q_1 : Flux de la chambre 1 vers la chambre 2 [mbar.m³.s⁻¹]

Q_2 : Flux de la chambre 2 vers la chambre 1 [mbar.m³.s⁻¹]

C_o : Conductance de l'orifice [m³.s⁻¹]

ν_i : Taux d'incidence depuis la chambre i [molécule.s⁻¹]

k_B : Constante de Boltzmann : 1,38 × 10⁻²³ J.K⁻¹

T : Température [K]

A : Surface [m²]

m : Masse de la molécule [kg]

A_o : Surface de l'orifice [m²]

Conductance générale

Les formules de la conductance des éléments sont toutes basées sur celle de l'orifice

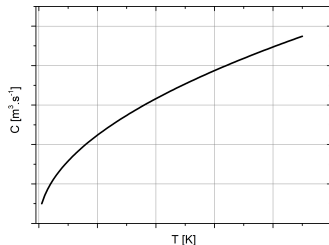
$$C = \sqrt{\frac{k_B T}{2\pi m}} \times (\text{facteur géométrique}) \quad (24)$$

C : Conductance [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

k_B : Constante de Boltzmann : $1,38 \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$

T : température [K]

m : Masse de la molécule [kg]



Pour convertir, nous normalisons à 1 K que nous re-multiplions à T désirée :

$$C_T = \sqrt{\frac{T}{293}} C_{20^\circ\text{C}} \quad (25)$$

C_T : Conductance à la température T [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

T : température [K]

293 : 293 K \equiv 20°C

$C_{20^\circ\text{C}}$: Conductance à 20°C [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

Exemple de l'orifice C_o (éq. 23) :

4 K : $C_o = 13,5 A_o$

293 K : $C_o = 116 A_o$

400°C = 693 K : $C_o = 178 A_o$

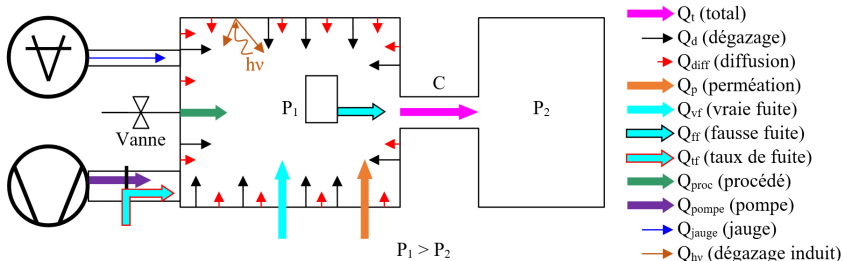
C_o : Conductance de l'orifice [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

A_o : Surface de l'orifice [m^2]

Sommaire

- 1 Introduction
- 2 Grandeurs caractéristiques
 - Effet globale sur la pression
 - Autres grandeurs
- 3 Pression
 - Généralité
 - Conductance et pompage
 - Les flux
- 4 Programme

Définitions des flux



$$Q_t = \Delta P \times C \quad (20)$$

Le flux est conservatif à l'équilibre (égal en tout point de C)

$$Q_t = Q_d + Q_{diff} + Q_p + Q_{vf} + Q_{ff} + Q_{tf} + Q_{proc} + Q_{pompe} + Q_{jauge} + Q_{hv} \quad (26)$$

Dégazage : H₂O, graisses

Diffusion : H₂ dissout dans les métaux

Perméation : gaz à travers les joints Viton

vraies fuites (trous)

Les fuites : fausses fuites (fond de taraudage)

taux de fuite des éléments

Dégazage

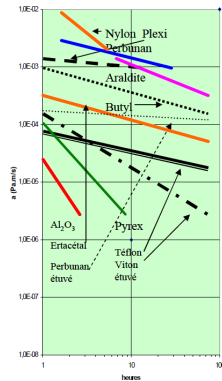
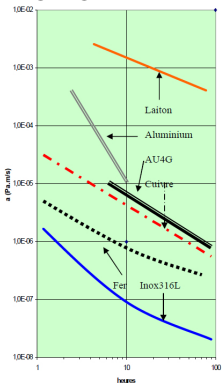
Le dégazage provient de la vapeur d'eau et des graisses sur la surface

Désorption des molécules

↪ Les molécules se retrouvent dans le volume

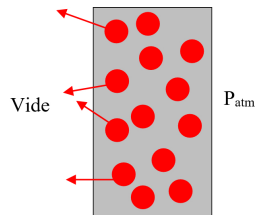
↪ La pression augmente

Les taux de dégazage sont fonction de la matière :



Diffusion

- Phénomène de volume
- Inclusion de H_2 dans la matière (métaux)
- Désorption avec le temps
- Migration de H_2 vers la surface



H_2 : provient de la fabrication à chaud du métal avec la vapeur d'eau :

→ Dissociation de H_2O en H_2

→ Inclusion de H_2 dans le métal

Perméation

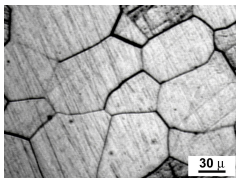
Capacité des atomes / molécules à passer à travers le solide : joint (viton, nitrile, EPDM)

3 types de mécanismes :

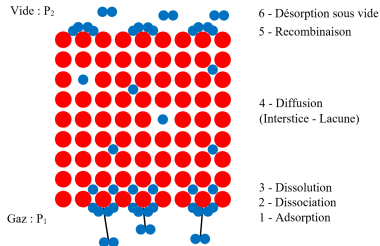
- 1 - La transporisation : passage des molécules via des canaux dans la matière (poreuse)
- 2 - Diffusion intergranulaire (activée) : passage des molécules par les joints de grains
- 3 - Diffusion : passage des molécules dans un solide via la cristallographie



Microcanaux



Joints de grains

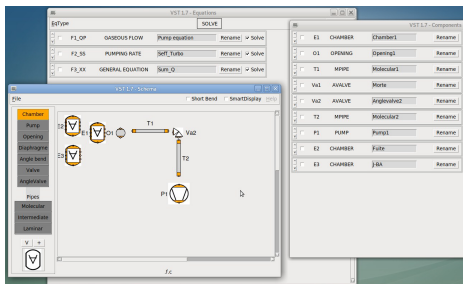


Sommaire

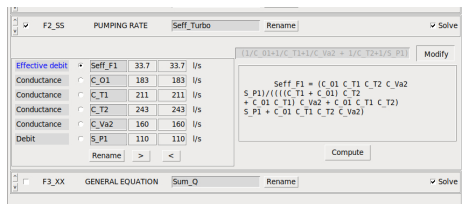
- ① Introduction
- ② Grandeurs caractéristiques
 - Effet globale sur la pression
 - Autres grandeurs
- ③ Pression
 - Généralité
 - Conductance et pompage
 - Les flux
- ④ Programme

Programme RTVide : VST

Programme développé par Jacques FAERBER & Fabrice MAINGOT DE LA GRASSIÈRE (IPCMS)
Permet le calcul de paramètre à l'état d'équilibre de la pression
Chaque donnée peut devenir une inconnue à calculer, et inversement



Définition du bâti



Paramétrage et calcul

Programme RTVide : VTT

Programme développé par Romain JARRIER (LCP-MR)

Permet le calcul du temps de la descente en pression

Pas d'optimisation directement possible

Assembly Conductance Calculator

Assembly characteristics
Total number of elements 5 Kind of gas Ar
Temperature [K] 293 Molecular weight [kg.mol-1] 40e-3
Unit choice: m mm
Apply for all elements: Near temperature
Pump definition: S (m3.s-1) 11.4 Pump library: Seff
Primary Secondary UVF

Direction of gas: Element 5 Element 6

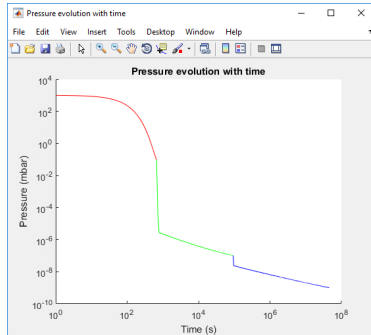
Element 1	Element 2	Element 3	Element 4	Element 5
A [m2] 180	A [m2] 200	V [m3] 0.004	A [m2] 40	A [m2] 20
L [m] 200	L [m] 400	-	L [m] 1000	A [m2] 40
Alpha 0.65217	L2 [m] 500	-	Alpha 0.94027	L [m] 70
D [m] 0.1	D [m] 0.2	D [m] 0	D [m] 0.04	D [m] 0.04
T [μ] 203	T [μ] 203	T [μ] 203	T [μ] 203	T [μ] 203
Gas Ar	Gas Ar	Gas Ar	Gas Ar	Gas Ar
Apply Temperature	Apply Temperature	Apply Temperature	Apply Temperature	Apply Temperature
Apply Gas	Apply Gas	Apply Gas	Apply Gas	Apply Gas
Molecular flow Conductance T 0.02 0.27099 m3.s-1 270.990 L.s-1 975.66 m3.h-1	Molecular flow Conductance T 0.02 0.89024 m3.s-1 890.236 L.s-1 3207.62 m3.h-1	Molecular flow Conductance T 0.02 0.0081978 m3.s-1 0.81978 L.s-1 24.522 m3.h-1	Molecular flow Conductance T 0.02 0.0001165 m3.s-1 0.1165 L.s-1 0.42191 m3.h-1	Molecular flow Conductance T 0.02 0.0049137 m3.s-1 4.9137 L.s-1 181.686 m3.h-1
Volume [m3] 0.0719078	Volume [m3] 0.218911	Volume [m3] 0.004	Volume [m3] 0.012099	Volume [m3] 2.356e-01
Volume [L] 0.0719078	Volume [L] 21.8911	Volume [L] 4	Volume [L] 12.099	Volume [L] 235.6
Circle tube alpha	Circle tube alpha	Circle tube alpha	Circle tube alpha	Circle tube alpha
Note	Note	Note	Note	Note

Total characteristics of the assembly

Molecular conductance Volume 0.0294476 m3
0.00300878 m3.s-1 29.4476 L
3.00878 L.s-1
10.8316 m3.h-1

Find error on dimension

Calculate Validate/Close Save Save as Load Quick save Quick load Help



Courbe $P=f(t)$

Calcul de la conductance d'un assemblage

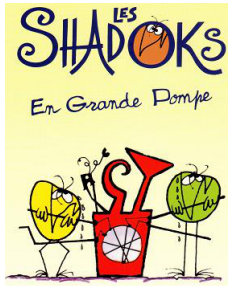
Programme CERN : MOLFLOW

Programme développé par Roberto KERSEVAN, Marton ADY & Pascal BAHR (CERN)

Permet le calcul de la conductance et de la pression

Utilise la méthode de Monte-Carlo : valeurs aléatoires de vitesses et de directions

Résultat de la probabilité de passage



En vous remerciant de votre attention

Je pompe donc je suis

Grandeur	Description	Unité		Équation	
		Dérivées	SI	Numéro	Transparent
A	Surface	m^2		-	-
A _o	Surface l'orifice	m^2		-	-
C	Conductance	$m^3.s^{-1}$		24	21
C _{20°C}	Conductance à 20°C	$m^3.s^{-1}$		-	-
C _T	Conductance à la température T	$m^3.s^{-1}$		25	21
C _c	Conductance du coude	$m^3.s^{-1}$		-	-
C _i	Conductance de l'élément <i>i</i>	$m^3.s^{-1}$		-	-
C _o	Conductance de l'orifice	$m^3.s^{-1}$		22	20
				23	20
C _{ti}	Conductance du tube <i>i</i>	$m^3.s^{-1}$		-	-
C _{tot}	Conductance totale	$m^3.s^{-1}$		18	18
C _v	Conductance de la vanne	$m^3.s^{-1}$		-	-
d	Diamètre	m		-	-
E	Énergie	J		2	7
E _d	Chaleur d'adsorption de la molécule sur la surface	J		-	-
k _B	Constante de Boltzmann	$1,38 \times 10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$		-	-
K _n	Nombre de Knudsen	-		12	12
M	Masse molaire	kg.mol^{-1}		-	-
m	Masse de la molécule	kg		4	8
N	Densité moléculaire	molécule.m ⁻³		11	10
				8	10
\mathcal{N}	Nombre de molécules	molécule		9	10
\mathcal{N}_a	Nombre d'Avogadro	$6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$		-	-
P	Pression	mbar	Pa	7	10
				15	16
				16	16
P _{ini}	Pression initiale	mbar	Pa	-	-
P _{lim}	Pression limite de la pompe	mbar	Pa	-	-
Q ₁	Flux de la chambre 1 vers la chambre 2	$\text{mbar.m}^3.s^{-1}$		21	20
Q ₂	Flux de la chambre 2 vers la chambre 1	$\text{mbar.m}^3.s^{-1}$		21	20
Q _d	Flux de dégazage	$\text{mbar.m}^3.s^{-1}$		-	-
Q _{diff}	Flux de diffusion	$\text{mbar.m}^3.s^{-1}$		-	-
Q _{ff}	Flux des fausses fuites	$\text{mbar.m}^3.s^{-1}$		-	-

Grandeur	Description	Unité		Équation	
		Dérivées	SI	Numéro	Transparent
Q_{jauge}	Flux des jauges	$\text{mbar} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$		-	-
Q_{p}	Flux de perméation	$\text{mbar} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$		-	-
Q_{pompe}	Flux des pompes	$\text{mbar} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$		-	-
Q_{proc}	Flux du procédé	$\text{mbar} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$		-	-
Q_{t}	Flux total	$\text{mbar} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$		20	20
				26	23
Q_{tf}	Flux des taux de fuite	$\text{mbar} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$		-	-
Q_{vf}	Flux des vraies fuites	$\text{mbar} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$		-	-
$Q_{\text{h}\nu}$	Flux du dégazage induit	$\text{mbar} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$		-	-
R	Constante des gaz parfaits	$8,314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$		-	-
S_{eff}	Vitesse de pompage effective	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$		17	18
S_{p}	Vitesse de pompage nominale de la pompe	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$		-	-
T	Température	K		-	-
t	Temps	s		-	-
V	Volume	m^3		-	-
V_{tot}	Volume total	m^3		-	-
v	Vitesse de la molécule	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$		3	8
v_{m}	Vitesse moyenne	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$		6	8
v_{p}	Vitesse la plus probable	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$		5	8
λ	Libre parcours moyen	m		13	12
ν	Taux d'incidence	$\text{molécule} \cdot \text{s}^{-1}$		19	19
σ	Diamètre de la molécule	m		-	-
τ	Temps de collage	s		14	13
τ_0	Période d'oscillation perpendiculaire à la surface	s		-	-