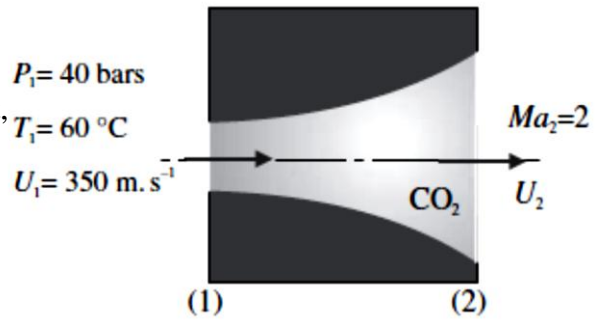


Exercice N°1

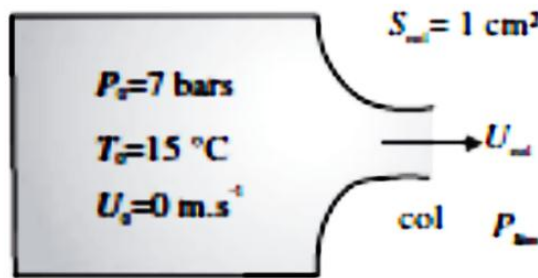
On considère l'écoulement isentropique du dioxyde de carbone dans une tuyère tel représenté sur la figure ci-contre. À la section (1) de cet écoulement, la température est $T_1=60\text{ °C}$ et la vitesse $V_1=350\text{ m/s}$. Déterminer la vitesse V_2 à la section (2) où le nombre de Mach $Ma_2=2$. Calculer alors le rapport des sections S_2/S_1 .



Rép : $V_2=500.5\text{ m/s}$, $S_2/S_1=1.71$.

Exercice N°2

Un gaz idéal à la pression $P_0 = 7\text{ bars}$ et à la température $T_0 = 15\text{ °C}$ s'écoule de façon isentropique à partir d'un grand réservoir de stockage à travers une tuyère convergente directement à l'atmosphère. La surface au col du conduit est de 1 cm^2 . Déterminer la pression, température, vitesse et débit-masse du gaz au col du conduit si le gaz est (a) de l'air ($\gamma = 1.4$), (b) du dioxyde de carbone ($\gamma = 1.3$) et (c) de l'hélium ($\gamma = 1.66$).



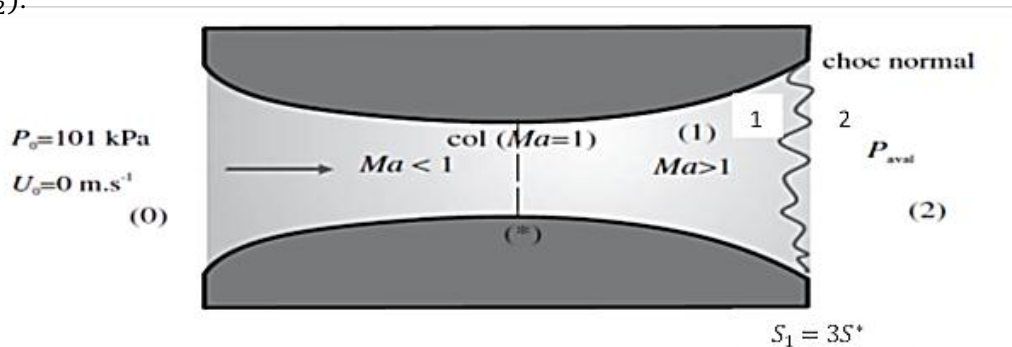
Rép : a) $P_{col}=3.7\text{ bar}$, $T_{col}=240\text{ K}$, $V_{col}=310.5\text{ m/s}$, $q_m=0.166\text{ kg/s}$

b) $P_{col}=3.82\text{ bar}$, $T_{col}=250.4\text{ K}$, $V_{col}=248\text{ m/s}$, $q_m=0.2\text{ kg/s}$

c) $P_{col}=3.41\text{ bar}$, $T_{col}=213.54\text{ K}$, $V_{col}=864.7\text{ m/s}$, $q_m=0.065\text{ kg/s}$

Exercice N°3

De l'air dans les conditions standards entre dans une tuyère avec une vitesse subsonique et accélère de façon isentropique jusqu'à une vitesse supersonique (voir figure ci-dessous). Si le rapport entre la surface de sortie et celle au col est de 3, déterminer le rapport de la pression aval à la sortie ($P_s = P_{aval}$) à la pression totale à l'entrée ($P_0 = P_{01}$) qui résultera à une onde de choc normale à la sortie de la tuyère en déduire P_{aval} . Déterminer aussi la perte de pression totale à travers l'onde de choc normale en kPa ($P_{01} - P_{02}$).



Rép : $\frac{P_s}{P_0} = 0.375$, $P_s = P_{aval} = 37.9\text{ kPa}$, $(P_{01} - P_{02}) = 56.1\text{ kPa}$

Exercice N°4

Un réservoir contient de l'air comprimé à une pression $P_i = 4$ bar, supposée pression d'arrêt à l'état initial. L'ouverture d'une vanne dans ce réservoir provoque la détente de l'air vers l'extérieur sous forme d'un jet ayant un diamètre $d = 5$ mm. Les paramètres extérieurs du jet d'air à l'état final sont :

- Pression $P = 1$ bar,
- Température $T = 250$ °C,

On donne $\gamma = 1,4$ et $r = 287$ J/Kg.K.

- 1) Calculer la vitesse du son a à l'extérieur du réservoir en (m/s).
- 2) Déterminer la masse volumique ρ de l'air à l'extérieur du réservoir en (kg/m³). (On suppose que l'air est un gaz parfait.)
- 3) Ecrire l'équation de Saint-Venant, en terme de rapport de pression, entre un point d'arrêt et un point sur le jet d'air.
- 4) En déduire le nombre de Mach M au niveau du jet d'air.
- 5) Quelle est la nature de l'écoulement ?
- 6) Calculer la vitesse d'écoulement V du jet d'air en (m/s).
- 7) En déduire le débit massique q_m (kg/s).

Rép : 1) $a = 346$ m/s, 2) $\rho = 1.169$ kg/m³, 3) $1 + \frac{\gamma-1}{2} M^2 = \left(\frac{P_i}{P}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$, 4) $M = 1.558$, 5) écoulement est supersonique, 6) $V = 549.48$ m/s, 7) $q_m = 2.52$ kg/s.

Exercice N°5

En un point d'un écoulement isentropique la température locale est 20°C et la pression 1 bar.

1. Si $V = 200$ m/s, calculer M , T_i , P_i .
2. Même question pour $V = 400$ m/s.
3. Pour $V = 400$ m/s il se forme une onde de choc en ce point, calculer P_2 , T_2 , M_2 après l'onde de choc.
4. On place une sonde d'arrêt après l'onde de choc, calculer la pression d'arrêt P_r .

Rép : 1) $M = 0.583$, $T_i = 313$ K, $P_i = 1.259$ bar.
2) $M = 1.166$, $T_i = 373$ K, $P_i = 2.32$ bar.
3) $P_2 = 1.419$ bar, $M_2 = 0.864$, $T_2 = 323.14$ K.
4) $P_r = 1.617$ bar.

Exercice N°6

Une tuyère convergente-divergente alimenter par l'air $P_i = 3$ bar et $T_i = 600$ K. Cette tuyère à une section d'entrée $S_e = 5$ cm² et une vitesse $V_e = 146$ m/s. On constate expérimentalement la présence d'une onde de choc dans une section $S_{O,C} = 2.53$ cm².

1. Calculer P , T , ρ au col et le débit.

2. Calculer P et T avant et après l'onde de choc.
3. Calculer P et T dans la section de sortie où $S_S=2.70\text{cm}^2$.

Rép : 1) $P_c=1.581\text{bar}$, $T_c=499\text{K}$, $\rho_c=1.107\text{kg/m}^3$, $q_m=0.122\text{kg/s}$.

2) $P_1=1.235\text{bar}$, $T_1=465\text{K}$, $P_2=1.87\text{bar}$, $T_2=525\text{K}$.

3) $P=2.14\text{bar}$, $T=546\text{K}$.

Exercice N°7

On considère une tuyère convergente-divergente ; une onde de choc est située dans le divergent. On note $(\cdot)^*$ ₁ l'état critique associé à l'écoulement isentropique en amont de ce choc droit :

$(\rho^*)_1$,

$(p^*)_1$, $(T^*)_1$, $(u^*)_1$, $(A^*)_1$ sont donc respectivement la densité, la pression, la température, la vitesse et la section critique (ou sonique) en amont du choc.

On introduit similairement $(\cdot)^*$ ₂, l'état critique associé à l'écoulement en aval du choc. $(\rho^*)_2$, $(p^*)_2$,

$(T^*)_2$, $(u^*)_2$, $(A^*)_2$ désignent alors respectivement la densité, la pression, la température, la vitesse et la section critique (ou sonique) en aval du choc. On notera également $(p_0)_1$ la pression d'arrêt isentropique associée à l'écoulement avant le choc et $(p_0)_2$ la pression d'arrêt isentropique associée à l'écoulement après le choc.

En écrivant la conservation de la masse entre l'état $(\cdot)^*$ ₁ et $(\cdot)^*$ ₂, démontrer la relation :

$$(\rho^*)_1(u^*)_1(A^*)_1 = (\rho^*)_2(u^*)_2(A^*)_2$$

Exercice N°8

On considère une tuyère convergente-divergente. L'écoulement est supersonique dans le divergent.

Le rapport de section entre la sortie et le col est égal à 10 ; la pression d'arrêt est $p_0 = 10 \text{ atm}$ et la pression ambiante $p_a = 0.04 \text{ atm}$.

Décrire précisément l'écoulement à la sortie de la tuyère.

Rép : $\theta=5.75^\circ$

Exercice N°9

Une tuyère est alimentée à l'amont par de l'air ($\gamma = 1.405$, $r = 287 \frac{\text{J}}{\text{kg.K}}$) dont la pression génératrice est $P_i=1\text{bar}$ et la température d'arrêt $T_i=288 \text{ K}$.

Dans la section d'entrée ($S=5 \text{ cm}^2$) la vitesse de l'air est 111m/s . la pression dans la section de sortie est $1/3 \text{ bar}$.

1. Représenter graphiquement en fonction de x , pour x variant de 0 à l , les rapports $\frac{P}{P_i}$, $\frac{T}{T_i}$, $\frac{S}{S_c}$, M . On utilisera les tables d'écoulement isentropique. Dresser un tableau récapitulatif des valeurs pour l'entrée ($x=0$) la sortie ($x=l$) le col et les sections d'abscisse $0.25l$, $0.50l$, $0.75l$. calculer la vitesse de sortie et le débit masse de la tuyère.
2. Dans la tuyère ayant le profil défini à la question précédente, on fait varier la pression à l'aval, sans modifier les conditions à l'amont, de façon à obtenir une onde de choc droite située à l'abscisse $x=0.75l$. En négligeant la variation de pression d'arrêt à la traversée de l'onde de choc, calculer les pressions, masses volumiques, températures et vitesses de part et d'autre de l'onde de choc et à la sortie de la tuyère.
Compléter dans ce cas la représentation graphique de la première question.

Rép : 1)

x	0	1/4	1/2	Col, 0.672l	3/4	l
P/P_i	0.9273	0.7788	0.6303	0.527	0.4818	0.3333
T/T_i	0.9784	0.930	0.875	0.8316	0.8102	0.728
S/S_c	1.869	0.176	1.024	1	1.0047	1.0919
M	0.33	0.61	0.84	1	1.076	1.36

$$V_s = 394.7 \text{ m/s}, q_m = 63.5 \text{ g/s}$$

2)

x	Col	3/4 (amont)	3/4 (aval)	l
P/P_i	0.527	0.4818	0.570	0.7177
T/T_i	0.8316	0.8102	0.810	0.909
M	1	1.076	0.932	0.704
V	310.3	329.5	292.5	228.1