

Exercice 5.6

- (a) Pour avoir un nombre de Mach égal à 1,5 à la sortie, il faut que le nombre de Mach soit égal à 1 au col.

Ainsi : $S^* = S \text{ cm}^2$

Pour $M_e = 1,5$, alors $\frac{S_e}{S^*} = 1,176 \Rightarrow \boxed{S_e = 5,88 \text{ cm}^2}$

(soit avec les tables isentropes,

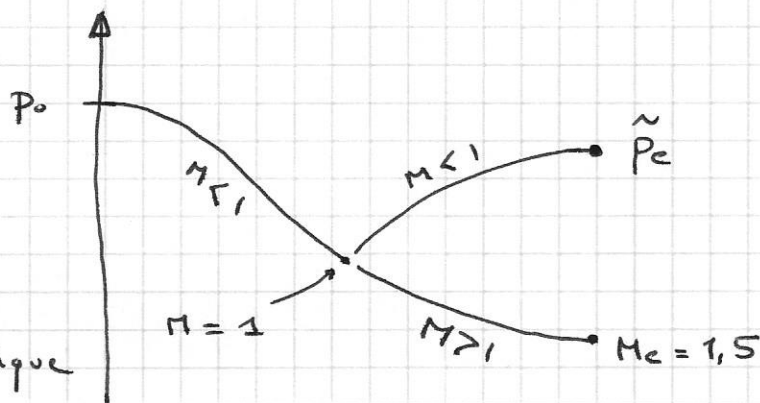
soit avec la formule :

$$\frac{S_e}{S^*} = \frac{1}{M_e} \left[\frac{2}{\gamma+1} \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} M_e^2 \right) \right]^{\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}}$$

- (b) Pour la m géométrique, il y aura blocage sonique à partir de pressions arrières inférieures à

$\tilde{p}_e$ (voir schéma)

qui représente la pression de sortie dans le cas où l'écoulement est subsonique dans toute la tuyère, sauf au col où $M = 1$.



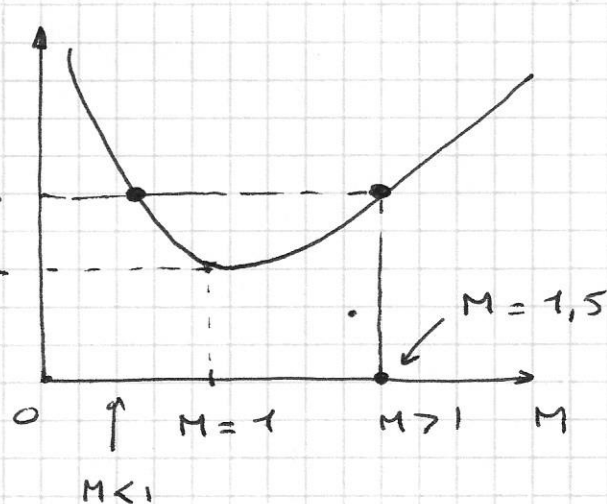
Sur les tables isentropes, on trouve 2 valeurs de M pour $\frac{S_e}{S^*} = 1,176$

($M < 1$ et $M > 1$ voir schéma ci-contre).

La valeur subsonique donne :

$\tilde{M} = 0,61$ et $\frac{\tilde{p}_e}{p_0} = 0,778$

$\Rightarrow \tilde{p}_e = (0,778)(500 \text{ kPa}) = 389 \text{ kPa}$



Ainsi, il y a blocage sonique pour des pressions arrières p_b

$0 \leq p_b \leq 389 \text{ kPa}$

③ Pour $p_b = 450 \text{ kPa}$, il n'y a pas blocage sonique.

Ainsi: $p_e = p_b = 450 \text{ kPa}$

$$\Rightarrow \frac{p_e}{p_0} = \frac{450 \text{ kPa}}{500 \text{ kPa}} = 0,9$$

A partir des tables isentropes ou des relations isentropes:

$$Me = 0,39, \quad \frac{p_e}{p_0} = 0,90, \quad \frac{T_e}{T_0} = 0,971$$

$$\Rightarrow T_e = 388,4 \text{ K}$$

(Remarque: pour $Me = 0,39$, on trouve $\frac{S_e}{S^*} \approx 1,62$)

$$\Rightarrow S^* = \frac{5,88 \text{ cm}^2}{1,62} = 3,63 \text{ cm}^2$$

Comme le col a une aire de $5 \text{ cm}^2 > 3,63 \text{ cm}^2$, il n'y a pas blocage sonique au col et le nombre de Mach est inférieur à 1 au col.)

Ainsi: $\dot{m} = p_e \cdot S_e \cdot U_e$

$$= \frac{p_e}{\sqrt{r T_e}} \cdot S_e \cdot Me \sqrt{\gamma r T_e}$$

$$= \frac{450 \text{ kPa}}{\left(0,287 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}\right) (388,4 \text{ K})} \cdot (5,88 \times 10^{-4} \text{ m}^2) \times$$

$$\times (0,39) \sqrt{(1,4) \left(287 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}\right) (388,4 \text{ K})}$$

$$\boxed{\dot{m} = 0,365 \text{ kg/s}}$$

④ Pour $p_b = 0 \text{ kPa}$, il y a blocage sonique.

Le débit massique peut être évalué de plusieurs manières.

Soit à la sortie pour: $Me = 1,5$ ou $\tilde{Me} = 0,61$

Soit au col pour: $M = 1$

(i) Sortie avec $M_e = 1,5$, $S_e = 5,88 \text{ cm}^2$

$$\frac{T_e}{T_0} = 0,6897, \quad \frac{P_e}{P_0} = 0,2724$$

$$\begin{aligned} \dot{m} &= \rho_e \cdot S_e \cdot U_e = \frac{P_e}{r T_e} \cdot S_e \cdot M_e \sqrt{\gamma r T_e} \\ &= \frac{P_0}{r T_0} \frac{P_e/P_0}{T_e/T_0} \cdot S_e \cdot M_e \sqrt{\gamma r T_0} \sqrt{\frac{T_e}{T_0}} \\ &= \frac{500 \text{ kPa}}{\left(0,287 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}\right) (400 \text{ K})} \frac{0,2724}{0,6897} \left(5,88 \times 10^{-4} \text{ m}^2\right) \times \\ &\quad \times (1,5) \sqrt{(1,4) \left(287 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}\right) (400 \text{ K})} \sqrt{0,6897} \end{aligned}$$

$$\dot{m} = 0,505 \text{ kg/s}$$

(ii) $\tilde{M}_e = 0,61$, $\frac{\tilde{P}_e}{P_0} = 0,778$, $\frac{\tilde{T}_e}{T_0} = 0,9307$

$$\begin{aligned} \dot{m} &= \tilde{\rho}_e \cdot S_e \cdot U_e = \frac{\tilde{P}_e}{r \tilde{T}_e} \cdot S_e \cdot \tilde{M}_e \cdot \sqrt{\gamma r \tilde{T}_e} \\ &= \frac{P_0}{r T_0} \frac{\tilde{P}_e/P_0}{\tilde{T}_e/T_0} \cdot S_e \cdot \tilde{M}_e \sqrt{\gamma r T_0} \sqrt{\frac{\tilde{T}_e}{T_0}} \\ &= \frac{500 \text{ kPa}}{\left(0,287 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}\right) (400 \text{ K})} \frac{0,778}{0,9307} \cdot \left(5,88 \times 10^{-4} \text{ m}^2\right) \\ &\quad \times (0,61) \sqrt{(1,4) \left(287 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}\right) (400 \text{ K})} \sqrt{0,9307} \end{aligned}$$

$$\dot{m} = 0,505 \text{ kg/s}$$

(iii) $M_{\text{col}} = 1$, $\frac{T^*}{T_0} = 0,8333$, $\frac{P^*}{P_0} = 0,5283$, $S^* = 5 \text{ cm}^2$

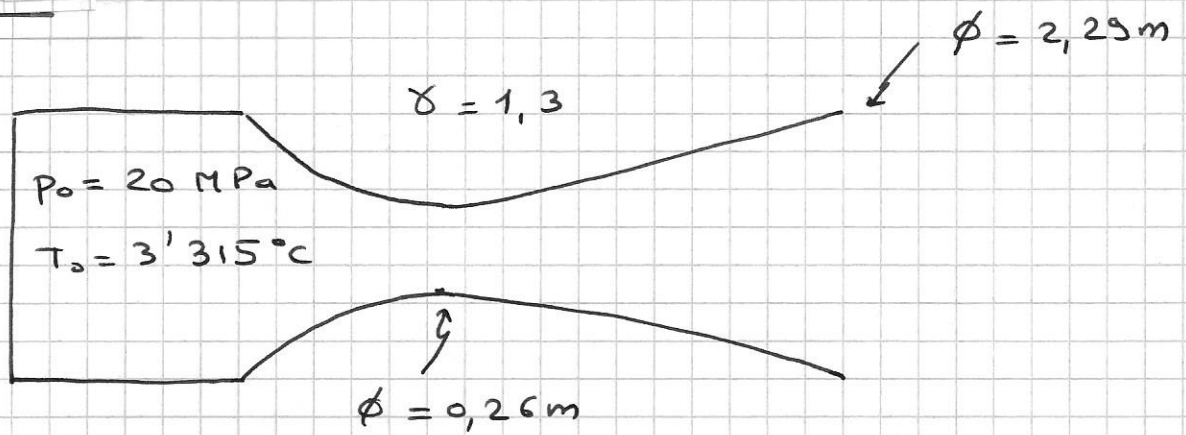
$$\begin{aligned} \dot{m} &= \rho^* \cdot S^* \cdot U^* = \frac{P^*}{r T^*} \cdot S^* \cdot M_{\text{col}} \cdot \sqrt{\gamma r T^*} \\ &= \frac{P_0}{r T_0} \frac{P^*/P_0}{T^*/T_0} \cdot S^* \cdot M_{\text{col}} \sqrt{\gamma r T_0} \sqrt{\frac{T^*}{T_0}} \end{aligned}$$

$$= \frac{500 \text{ kPa}}{\left(0,287 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}\right)(400 \text{ K})} \cdot \frac{0,5283}{0,8333} \cdot (5 \times 10^{-4} \text{ cm}^2) \times$$

$$\times (1) \sqrt{(1,4) \left(287 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}\right)(400 \text{ K})} \sqrt{0,8333}$$

$$\Rightarrow \boxed{\dot{m} = 0,505 \text{ kg/s}}$$

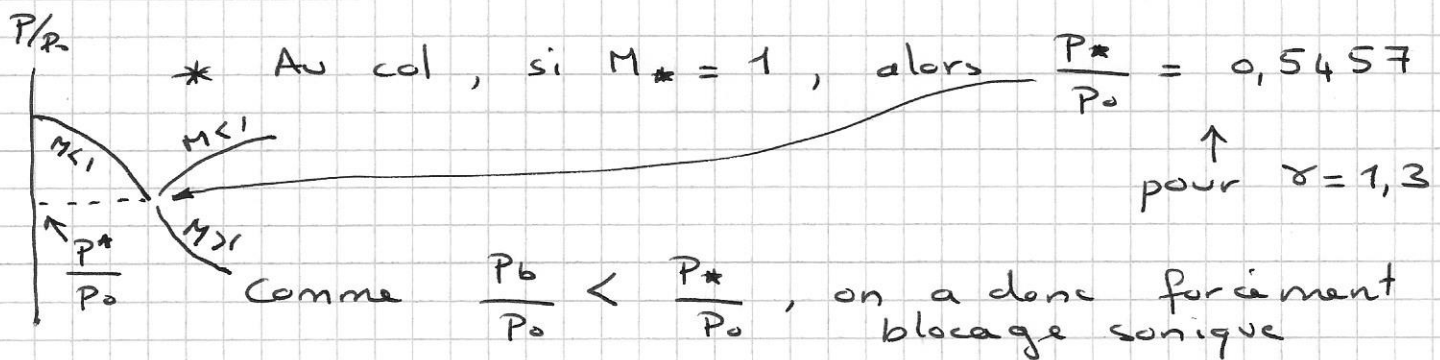
Exercice 5.7



(a) Soit $p_b = 101'325 \text{ Pa}$

$$\Rightarrow \frac{p_b}{p_0} = 5,0663 \times 10^{-3}$$

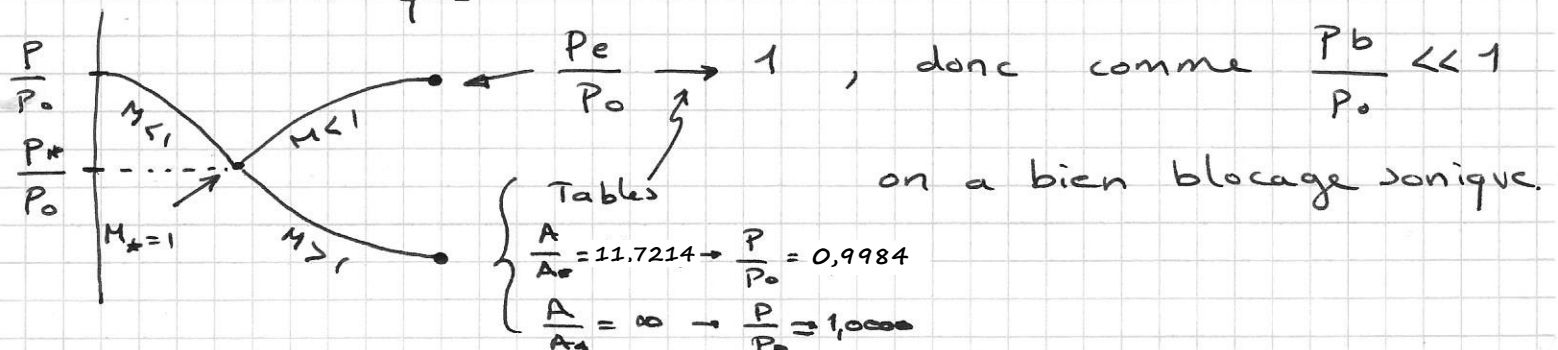
Il existe plusieurs manières de vérifier qu'il y a bien blocage sonique



Ceci est une condition suffisante (mais en fait elle n'est pas nécessaire).

* Comme on verra en (b), on a : $\frac{A_e}{A^*} = 77,575$

Si l'écoulement est subsonique partout, sauf au col où $M^* = 1$, alors sur les tables on voit que :



b) Il faut bien remarquer que le problème donne la valeur des diamètres au col et à la sortie.
Le problème doit se résoudre avec un rapport des aires entre la sortie et le col.

$$\frac{A_e}{A_*} = \left(\frac{2,29 \text{ m}}{0,26 \text{ m}} \right)^2 \leftarrow \text{IMPORTANT!} = 77,575$$

En utilisant $M_e = 5,5322$, on peut vérifier que la formule suivante est bien satisfaite:

$$\frac{A_e}{A_*} = \frac{1}{M_e} \left[\frac{2}{\gamma+1} \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} M_e^2 \right) \right]^{\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}}$$

avec $\gamma = 1,3$

Avec les tables pour $\gamma = 1,3$, par interpolation linéaire, on trouve:

$$\frac{M_e - 5,00}{6,00 - 5,00} = \frac{77,575 - 45,9565}{120,0965 - 45,9565}$$

$$\Rightarrow M_e = 5,4265 \quad \text{très proche!}$$

Pour le reste de l'exercice, on prendra la valeur exacte (comme elle est donnée dans l'énoncé):

$$M_e = 5,5322$$

$$\frac{P_e}{P_0} = \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} M_e^2 \right)^{-\frac{\gamma}{\gamma-1}} = 5,7670 \times 10^{-4}$$

$$\frac{T_e}{T_0} = \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} M_e^2 \right)^{-1} = 1,7887 \times 10^{-1}$$

$$\Rightarrow \boxed{P_e = 11'534 \text{ Pa} ; T_e = 641,80 \text{ K} = 368,65^\circ \text{C}}$$

Avec les tables, avec $M_e = 5,5322$:

$$\frac{T_e}{T_0} = 1,8165 \times 10^{-1}, \quad \frac{p_e}{p_0} = 7,2102 \times 10^{-4}$$

$$\Rightarrow T_e = 378,64^\circ\text{C}, \quad \Rightarrow p_e = 14'420 \text{ Pa}$$

Pour la vitesse de sortie, on utilise :

$$\frac{1}{2} u_e^2 + C_p T_e = C_p T_0$$

$$\text{avec } C_p = \frac{\gamma}{\gamma - 1} r$$

$$\Rightarrow u_e = \left[\frac{2\gamma}{\gamma - 1} r (T_0 - T_e) \right]^{1/2}$$

Attention:
 $\gamma = 1,3$

$$r = \frac{8,314 \text{ J/mol.K}}{0,018 \text{ kg/mol}} = 461,9 \frac{\text{J}}{\text{kg.K}}$$

$$\Rightarrow u_e = 3'434,3 \text{ m/s}$$

Avec la valeur de T_e des tables, on obtient :

$$u_e = 3'428,5 \text{ m/s}$$

Autre manière :

$$u_e = M_e \cdot \sqrt{\gamma r T_e}$$

$$\text{avec } M_e = 5,5322$$

$$T_e = 641,80 \text{ K}$$

$$r = 461,9 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$$

$$\gamma = 1,3$$

$$\Rightarrow u_e = 3'434,3 \text{ m/s}$$

③ Débit de sortie des gaz

On peut utiliser une formule obtenue en classe ou utiliser des formules plus directes

$$\dot{m} = \rho_e u_e A_e$$

$$\text{avec } \rho_e = \frac{p_e}{r T_e} = 3,8907 \times 10^{-2} \text{ kg/m}^3$$

$$\Rightarrow \dot{m} = \left(3,8907 \times 10^{-2} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) (3'434,3 \text{ m/s}) \frac{\pi}{4} (2,29 \text{ m})^2$$

$$\Rightarrow \boxed{\dot{m} = 550,06 \text{ kg/s}}$$

Avec les valeurs des tables :

$$\rho_e = 4,7897 \times 10^{-2} \text{ kg/m}^3$$

$$\Rightarrow \dot{m} = 676,01 \text{ kg/s}$$

Remarque : comme il y a blocage sonique, on peut évaluer le débit au col avec $M^* = 1$

$$\Rightarrow \dot{m} = \frac{p_0 A^*}{\sqrt{r T_0}} \sqrt{\gamma} \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}} \Rightarrow \dot{m} = 550,09 \text{ kg/s}$$

④ A partir de

$$C_p T_e + \frac{1}{2} u_e^2 = C_p T_0$$

$$\Rightarrow \text{Si } T_e \rightarrow 0, u_e \rightarrow u_{\max} = \sqrt{2 C_p T_0}$$

$$\text{avec } C_p = \frac{\gamma r}{\gamma - 1}$$

$$u_{\max} = \sqrt{2 \frac{(1,3)(461,9)}{1,3 - 1} 3'588}$$

$$u_{\max} \approx 3'790 \text{ m/s}$$

⑤ Poussée = débit $\times$ vitesse de sortie des gaz

$$\text{Poussée} = (550,06 \text{ kg/s}) (3'434,3 \text{ m/s})$$

$$\text{Poussée} \approx 1,89 \times 10^6 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \text{Puissance générée} &= \text{poussée} \times \text{vitesse de sortie} \\ &= (1,89 \times 10^6 \text{ N}) (3'434,3 \text{ m/s}) \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \text{Puissance} \approx 6'500 \text{ MW}$$

$$= 6 \text{ centrales nucléaires}$$

$$= 6'000 \text{ éoliennes}$$

Exercice 5.8

- (a) Lors d'une détente dans une tuyère de Laval, la température baisse et peut donc conduire à un changement de phase. Il faut évidemment que la pression "collabore", car elle baisse également.
- (b) Il faut travailler avec les pressions partielles de CO_2 . Comme les gaz issus de la combustion contiennent 16% CO_2 en volume et que les gaz sont à 2 bar dans le réservoir, alors la pression partielle du CO_2 dans le réservoir (valeur initiale) :

$$P_{\text{CO}_2, i} = (2 \text{ bar}) (0,16) = 0,32 \text{ bar}.$$

$$T_{\text{CO}_2, i} = 300 \text{ K}$$

- (c) Comme il s'agit d'une détente isentropique, on peut écrire

$$P_{\text{CO}_2} = P_{\text{CO}_2, i} \left(\frac{T_{\text{CO}_2}}{T_{\text{CO}_2, i}} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

On peut ainsi tracer la courbe de la pression P_{CO_2} en fonction de la température T_{CO_2} .

(il suffit de choisir quelques points pour la température, calculer la pression correspondante, et tracer la courbe)

On trouve que la courbe intersecte la courbe de solidification pour

$$T_{\text{CO}_2} \approx 159 \text{ K}$$

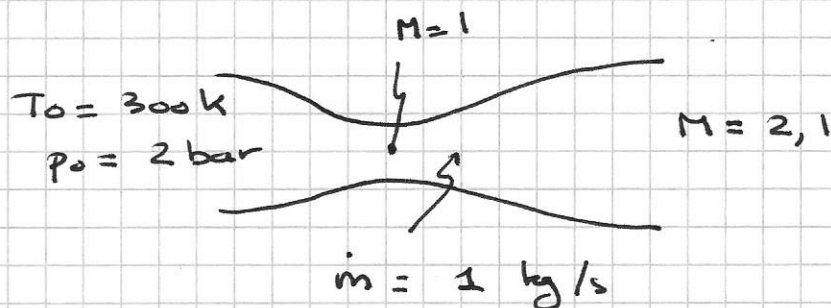
$$P_{\text{CO}_2} \approx 0,0347 \text{ bar}$$

A partir de $\frac{T_{\text{CO}_2, i}}{T_{\text{CO}_2}} = 1 + \frac{\gamma-1}{2} M^2$, on trouve

le nombre de Mach correspondant :

$$M \approx 2,1$$

d) Dimensionnement de la tuyère :



A partir de la table dans le formulaire
(entre les formules F.69 et F.70)

$$\frac{\dot{m} \sqrt{\gamma T_0}}{p_0 A^*} = 0,6847 \quad (\text{pour } \gamma = 1,4)$$

Pour le gaz : $r = \frac{R}{\text{db}} = \frac{8,314 \text{ J/K.mol}}{0,035 \text{ kg/mol}} = 237,5 \frac{\text{J}}{\text{kg.K}}$

Comme le débit est uniforme dans la tuyère
(conservation de masse en écoulement permanent)

$$\dot{m}^* = \dot{m} = 1 \text{ kg/s}$$

$$\Rightarrow A^* = 1,949 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

A partir des tables pour $M = 2,1$

$$\frac{A}{A^*} = 1,8369$$

$$\Rightarrow A = 3,581 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Exercice 5.9

On part de l'équation de conservation de quantité de mouvement

$$u du = - \frac{1}{\rho} dp$$

(identique à l'équation de conservation d'énergie

$$dh + u du = 0$$

$$\text{ou } dh = \underbrace{T ds}_0 + \underbrace{v dp}_{\text{Gibbs}} = \frac{1}{\rho} dp$$

Or: $\frac{P+B}{B} = \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^k$

$\nwarrow$ masse volumique de référence (non de réservoir)

$$\Rightarrow dp = B k \frac{\rho^{k-1}}{\rho_0^k} d\rho$$

$$u du = - B k \frac{\rho^{k-2}}{\rho_0^k} d\rho$$

$$\frac{1}{2} u^2 = - B \frac{k}{k-1} \frac{\rho^{k-1}}{\rho_0^k} \Big|_{p_r}^p$$

$p_r \leftarrow$ réservoir

(avec $u=0$ quand $p=p_r$)

$$\Rightarrow u^2 = - 2 B \frac{k}{k-1} \left(\frac{\rho^{k-1}}{\rho_0^k} - \frac{p_r^{k-1}}{\rho_0^k} \right)$$

Vitesse du son: $a^2 = \left(\frac{\partial p}{\partial \rho} \right)_s = B k \frac{\rho^{k-1}}{\rho_0^k}$

$$\Rightarrow M^2 = \frac{u^2}{a^2} = \frac{-2}{k-1} \left[1 - \left(\frac{p_r}{p} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]$$

$$= \frac{2}{k-1} \left[\left(\frac{p_r}{p} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$$

Si dans le réservoir $p = p_0$

$$\Rightarrow \left. \begin{aligned} \frac{p_0 + B}{B} &= \left(\frac{p_r}{p_0} \right)^{\frac{k}{k-1}} \\ \text{Avec : } \frac{p + B}{B} &= \left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{k}{k-1}} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \left(\frac{p_r}{p} \right)^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{p_0 + B}{p + B} \right)^{\frac{k-1}{k}}$$

Ainsi :

$$\boxed{M^2 = \frac{2}{k-1} \left[\left(\frac{p_0 + B}{p + B} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]}$$

On veut $M = 1$ avec $p = 1 \text{ atm}$.

Avec $k = 7,15$ et $B = 3'000 \text{ atm}$

$$\Rightarrow p_0 = -B + (p + B) \left(1 + \frac{k-1}{2} M^2 \right)^{\frac{k}{k-1}}$$

$\swarrow$ $7,15$ $\searrow$ $\frac{k}{k-1}$
 $\swarrow$ 1 atm $\swarrow$ $3'000 \text{ atm}$ $\searrow$ $M = 1$

$$\Rightarrow p_0 = 12'367 \text{ atm} !$$

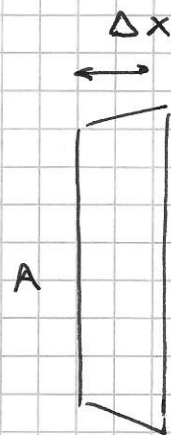
Exercice 5.10

(a) Conservation de masse

$$\frac{\partial}{\partial t} \int \rho dV + \int \rho \vec{u} \cdot \hat{n} dS = 0$$

$dV = A dx$ en fait: $\frac{Ax + Ax + \Delta x}{2}$

$$\Rightarrow \frac{\partial(\rho A)}{\partial t} \cdot \Delta x + \rho u A \Big|_x^{x+\Delta x} = 0$$



En divisant par Δx , avec $\Delta x \rightarrow 0$

$$\Rightarrow \frac{\partial(\rho A)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u A) = 0$$

Conservation de quantité de mouvement.

→ voir cours

Il faudra utiliser le fait que

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho A) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u A) = 0$$

et on obtient alors:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x}$$

(Equation d'Euler)

$$(b) \quad \frac{\partial}{\partial t} (\rho A) + \frac{\partial}{\partial x} (\rho u A) = 0$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x}$$

$$\begin{cases} u = u' \\ p = p_0 + p' \\ \rho = \rho_0 + \rho' \\ A = A_0 + A' \end{cases}$$

$$* \quad \rho A = \rho_0 A_0 + \rho' A_0 + \rho_0 A' + \cancel{\rho' A'}^0$$

$$\Rightarrow \frac{\partial}{\partial t} (\rho A) = A_0 \frac{\partial \rho'}{\partial t} + \rho_0 \frac{\partial A'}{\partial t}$$

$$* \quad \rho u A = \rho_0 A_0 u' + \cancel{A_0 \rho' u'} + \cancel{\rho_0 A' u'}$$

$$\Rightarrow \frac{\partial}{\partial x} (\rho u A) = \rho_0 A_0 \frac{\partial u'}{\partial x}$$

$$* \quad u \frac{\partial u}{\partial x} = \cancel{u' \frac{\partial u'}{\partial x}}$$

$$* \quad \rho u = \rho_0 u' + \cancel{\rho' u'}$$

$$\Rightarrow \frac{\partial}{\partial t} (\rho u) = \rho_0 \frac{\partial u'}{\partial t}$$

$$* \quad \frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial p'}{\partial x}$$

$$* \quad \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p'}{\partial x}$$

$$\Rightarrow \left[\begin{aligned} \rho_0 \frac{\partial A'}{\partial t} + A_0 \frac{\partial \rho'}{\partial t} + \rho_0 A_0 \frac{\partial u'}{\partial x} &= 0 \\ \rho_0 \frac{\partial u'}{\partial t} &= -\frac{\partial p'}{\partial x} \end{aligned} \right]$$

③ $\rho' = \frac{1}{a f^2} \rho'$

$$A' = A_0 \frac{2R}{h} \frac{P'}{E}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \rho_0 A_0 \frac{2R}{h} \frac{1}{E} \frac{\partial P'}{\partial t} + A_0 \frac{1}{af^2} \frac{\partial P'}{\partial t} + \rho_0 A_0 \frac{\partial u'}{\partial x} = 0 \\ \rho_0 A_0 \frac{\partial u'}{\partial t} = -A_0 \frac{\partial P'}{\partial x} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \left(\rho_0 \frac{2R}{h} \frac{1}{E} + \frac{1}{\alpha_f^2} \right) \frac{\partial p'}{\partial t} + \rho_0 \frac{\partial u'}{\partial x} = 0 \\ \frac{\partial p'}{\partial x} + \rho_0 \frac{\partial u'}{\partial t} = 0 \end{cases}$$

En opérant sur la 1^{ère} relation avec $\frac{\partial}{\partial t}$
2^{ème} $\frac{\partial}{\partial x}$

et en soustrayant l'une de l'autre

$$\underbrace{\left(\rho_0 \frac{2R}{h} \frac{1}{E} + \frac{1}{a_f^2} \right)}_{= \frac{1}{a_s^2}} \frac{\partial^2 p'}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 p'}{\partial x^2}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{a^2} \frac{\partial^2 p'}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 p'}{\partial x^2}$$

$$\text{avec } \frac{1}{a^2} = \frac{1}{a_s^2} + \frac{1}{a_f^2}$$

$$a_s^2 = \frac{h}{2R} \frac{E}{p_0}$$

(d) Conduit infiniment rigide
→ module de Young E "très grand"

$$\Rightarrow \frac{1}{a^2} \sim \frac{1}{a_f^2} \Rightarrow a \sim a_f$$

(e) Conduit très flexible
→ module de Young E "très petit"

$$\Rightarrow \frac{1}{a^2} \sim \frac{1}{a_s^2} \Rightarrow a \sim a_s$$

(f)

$$a_s = \sqrt{\frac{h}{2R} \frac{E}{\rho_0}}$$

Il est à remarquer qu'une mesure de h , R , et a_s permet une évaluation de la rigidité d'une artère, ce qui peut avoir une utilité médicale.

Références: Fung, "Biomechanics: Circulation"

$$2R \sim 0,5 \text{ cm (diamètre)}$$

$$h \sim 0,05 \text{ cm}$$

$$E \sim 10^5 \text{ Pa (varie avec le diamètre)}$$

$$\rho_0 \sim 1000 \text{ kg/m}^3 \text{ (masse volumique du sang proche de celle de l'eau)}$$

$$\Rightarrow a_s \sim 3 \text{ m/s}$$

(cette vitesse varie avec le module d'élasticité, le diamètre, et l'épaisseur de paroi de l'artère)