

Corrigé PHYSIQUE-CHIMIE-filière TSI

Problème I : Mirages acoustiques

I.

I.1. La propagation du son

I.1.a.

Une onde progressive est **un phénomène de propagation de proche en proche d'une perturbation de l'espace physique sans déplacement de matière du milieu considéré**. Elle se propage selon une ou plusieurs directions (phénomène spatial), la propagation se faisant à une certaine vitesse appelée célérité de l'onde (phénomène temporel).

La surpression ainsi que la vitesse locale de déplacement des couches fluides sont les grandeurs physiques qui se propagent de proche en proche pour une onde acoustique.

I.1.b.

Le son se propage dans **un milieu matériel** uniquement et élastique comme toute onde mécanique.

On peut observer des ondes mécaniques

- le long d'une corde tendue (instrument à cordes type violon, guitare ou à percussion type piano) +
- à la surface de la croûte terrestre et à l'intérieur des roches : ondes sismiques.

I.1.c.

Le domaine des fréquences audibles se situe entre **20 et 20000 Hz**. Les fréquences des ultrasons se situent au-dessus des 20 000 Hz. **L'échographie** utilise la réflexion des ultrasons dans le domaine de l'imagerie médicale.

I.1.d. La célérité de la lumière étant très élevée, on peut considérer que l'on observe l'éclair à l'instant t_0 où il est émis.

L'onde acoustique nous arrive après s'être propagée à la célérité c_{air} . Nous entendons donc le tonnerre avec un certain retard : $\Delta t = t_{\text{propagation}} - t_0 = L / c_{\text{air}}$, L étant la distance qui nous sépare de l'endroit où la foudre est tombée.

D'après le texte, $L(\text{km}) = \Delta t(\text{s})/3$ donc $L(\text{m}) = 1000 * \Delta t(\text{s})/3$ d'où $c_{\text{air}} = 1000/3 = 334 \text{ m.s}^{-1}$

I.2. Principe du sonar.

I.2.a. Le sonar mesure le décalage temporel entre l'émission et la réception de l'onde sonore : $\Delta t = 2L / c_{\text{mer}}$

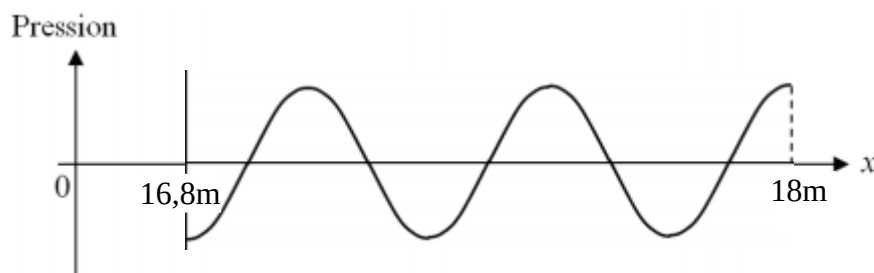
Connaissant la vitesse du son dans la mer c_{mer} , la mesure de Δt permet de déterminer L .

I.2.b. $L = \Delta t * c_{\text{mer}} / 2$, AN $L = 29,10 \text{ m}$

I.2.c. L'impulsion sonore compte 2,5 périodes donc $\Delta t_i = 2,5 T = \frac{2,5}{f}$ soit $f = 2,5 T = \frac{2,5}{\Delta t_i}$ AN $f = 3125 \text{ Hz}$

I.2.d. $\Delta x = c_{\text{mer}} * \Delta t_i$; AN $\Delta x = 1,2 \text{ m}$

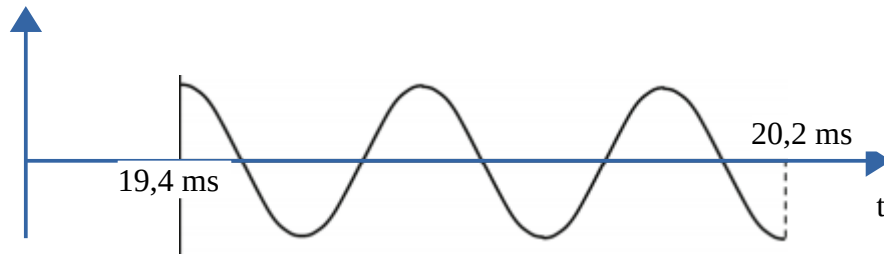
I.2.e.



Le début de l'impulsion émise à $t=0$ se retrouve en $M_0(x_0)$ à $t=12 \text{ ms}$, en $x_0 / x_0 = c_{\text{mer}}(t-0)$ AN $x_0 = 18 \text{ m}$

La fin de l'impulsion émise à $t=\Delta t_i$ se retrouve en $M_1(x_1)$ à $t=12 \text{ ms}$, en $x_1 / x_1 = c_{\text{mer}}(t-\Delta t_i)$ AN $x_1 = 16,8 \text{ m}$

I.2.f.



Le début de l'impulsion émise à $t=0$ est reçu à $t_1 = L / c_{\text{mer}}$ AN $t_1 = 19,4 \text{ ms}$

La fin de l'impulsion émise à $t=\Delta t_i$ est reçue à $t_2 = L / c_{\text{mer}} + \Delta t_i$ AN $t_2 = 20,2 \text{ ms}$

I.3. Son et température.

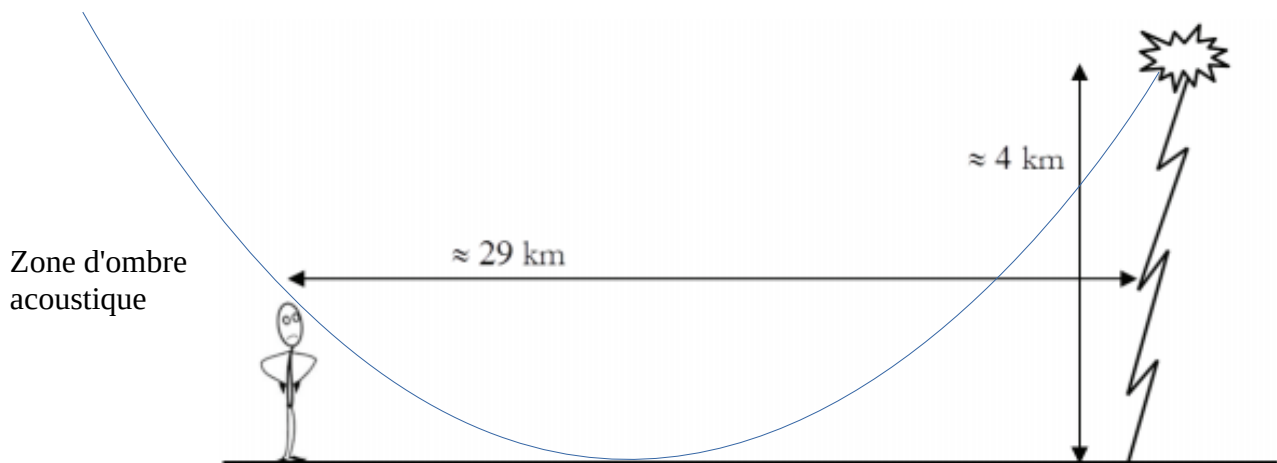
I.3.a. $c_0 = 346,99 \text{ m.s}^{-1}$

I.3.b.

On utilise la formule approchée à l'ordre 1 $f(T_0 + \Delta T) = f(T_0) + f'(T_0) \Delta T$ avec $c = f(T) = \sqrt{\frac{\gamma R T}{M}}$

$$\Delta c = f(T_0 + \Delta T) - f(T_0) = f'(T_0) \Delta T \quad \text{et} \quad f'(T_0) = \sqrt{\frac{\gamma R}{M}} * \frac{1}{2\sqrt{T_0}} = \frac{c_0}{2T_0} \quad \text{on retrouve} \quad \Delta c = \frac{c_0}{2} \Delta \frac{T}{T_0}$$

I.3.c.



La célérité de l'onde diminue avec l'altitude, lorsque le sol est très chaud en effet la température diminue avec l'altitude dans ce cas.

La trajectoire des ondes sonores s'incurvent donc vers le haut.

On observe le même phénomène avec les ondes lumineuses. La célérité de l'onde diminue avec l'altitude, lorsque le sol est très chaud en effet l'indice n du milieu augmente avec l'altitude ($c = c_{\text{vide}}/n$) dans ce cas.

La loi de la réfraction nous permet de retrouver que l'onde lumineuse s'incurve vers le haut.

Ce phénomène provoque pour l'oeil de l'observateur, des effets de mirage (le sol se comporte alors comme un miroir)

Problème II : Eau oxygénée et propulsion

II.1. Concentration d'une eau oxygénée

II.1.a.

Méthode :

Le noyau d'un atome est constitué des nucléons (protons et neutrons) au nombre égal à **A** (nombre de masse) avec **Z** protons (Z numéro atomique) et **A-Z** neutrons.

Pour un atome, édifice neutre du point de vue électrique, **Z** est aussi le nombre d'électrons.

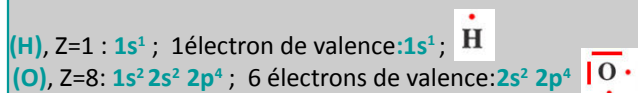
Résultats :

Le noyau de l'atome d'hydrogène contient donc **1 nucléon** (A=1) : **1 proton** (Z=1), **0 neutron** (A-Z) et **1 électron**
Le noyau de l'atome d'oxygène contient donc **16 nucléons** (A=16) : **8 protons** (Z=8), **8 neutrons** (A-Z) et **8 électrons**.

II.1.b.

Configuration électronique de l'atome d'hydrogène(H), Z=1 : $1s^1$

Configuration électronique de l'atome d'oxygène(O), Z=8 : $1s^2 2s^2 2p^4$



L'électron de valence de l'atome d'hydrogène(H) est l'électron $1s^1$

Les électrons de valence de l'atome d'oxygène (O) sont les électrons de la couche 2 : $2s^2 2p^4$

Les schémas de Lewis : $\cdot \text{H} \cdot$ et $\cdot \text{O} \cdot$ avec -- symbole d'un doublet (deux électrons) non liant.

II.1.c

Molécule de dioxygène : $\text{O}=\text{O}$ 4 doublets (8 électrons) entourent l'atome d'O, la règle de l'octet est respectée

Molécule d'eau : $\text{H}-\text{O}-\text{H}$ 1 doublet (2 électrons) entourent l'atome d'H, la règle du duet est respectée

Molécule de l'eau oxygénée : $\text{H}-\text{O}-\text{O}-\text{H}$

II.1.d

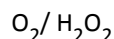
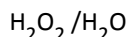
Élément	no dans O_2	no dans H_2O	no dans H_2O_2
H		no(H) = +I	no(H) = +I
O	no(O) = 0	$2^*(+I) + \text{no(O)} = 0$; no(O) = -II	$2^*(+I) + 2\text{no(O)} = 0$; no(O) = -I

Pour le couple : $\text{H}_2\text{O}_2 / \text{H}_2\text{O}$, la réaction de **réduction** est un **gain d'électrons**, on a bien une **diminution du no(O)** lors du passage de H_2O_2 (no(O) = -I) à H_2O (no(O) = -II).

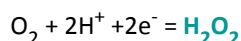
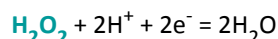
Pour le couple : $\text{O}_2 / \text{H}_2\text{O}_2$, on a bien une **diminution du no(O)** lors du passage de O_2 (no(O) = 0) à H_2O_2 (no(O) = -I).

II.1.e

couple redox



demi équation électronique



L'eau oxygénée peut jouer le rôle d'oxydant tout comme le rôle de réducteur, la réaction (3)
 $2\text{H}_2\text{O}_{2(aq)} \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}_{(l)} + \text{O}_{2(g)}$ correspond donc à une réaction d'oxydo-réduction

II.1.f

Lors d'une réaction de **dismutation**, une même espèce chimique joue à la fois le rôle d'oxydant et de réducteur.

La réaction de **médiamutation** est une **réaction d'oxydo-réduction** qui donne une seule espèce comme **produit** (réaction inverse de celle de dismutation)

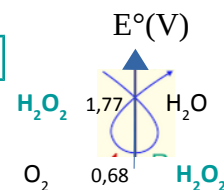
La réaction (3) dans le sens direct est une réaction de dismutation.

II.1.g

La réaction sera thermodynamiquement favorisée si K° est très supérieure à 1 ce qui revient avec

$$\log(K^\circ) = \frac{2}{0,06} (E^\circ(H_2O_2/H_2O) - E^\circ(O_2/H_2O_2)) \quad \text{à vérifier si} \quad E^\circ(H_2O_2/H_2O) - E^\circ(O_2/H_2O_2) > 1$$

Sur le graphique ci-contre, la règle dite du gamma est bien respectée.



II.1.h

3 % en masse d'eau oxygénée se traduit par :

$$m_{H_2O_2} + m_{eau} = m_{totale} \quad \text{avec} \quad m_{H_2O_2} = 0,03 * m_{totale}$$

La densité de la solution est $d = 1,04 : V$, volume de solution a une masse m_{totale} $m_{totale} = d \cdot \rho_{H_2O} * V$

Dans V , on aura $n_{H_2O_2} = \frac{m_{H_2O_2}}{M_{H_2O_2}} = \frac{0,03 * d * \rho_{H_2O} * V}{M_{H_2O_2}}$

$$C = \frac{n_{H_2O_2}}{V} = \frac{0,03 * d * \rho_{H_2O}}{M_{H_2O_2}}$$

AN : $M_{H_2O_2} = 34,02 \text{ g}$, $C = 0,92 \text{ mol.L}^{-1}$

II.2. Décomposition de l'eau oxygénée

II.2.a $2H_2O_{2(aq)} \rightarrow 2H_2O_{(l)} + O_{2(g)}$; $v_{H_2O_2} = \frac{-d[H_2O_2]}{dt} = 2 * v$ avec $v(t)$ vitesse de réaction : $v(t) = kC(t)$ donc

$$v_{H_2O_2} = \frac{-d[H_2O_2]}{dt} = 2 * k * C(t) \quad \text{par analyse dimensionnelle, on déduit que } k \text{ s'exprime en } s^{-1}$$

II.2.b

$$\frac{dC}{dt} + 2 * k * C(t) = 0 \quad \text{se déduit de la question précédente.}$$

II.2.c

$$v_{H_2O_2} = \frac{-d[H_2O_2]}{dt} = 2 * v$$

II.2.d $C(t_{1/2}) = \frac{C_0}{2}$ définit $t_{1/2}$ temps de demi-réaction ; $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{2 * k}$; AN $t_{1/2} = 172,42 \text{ s} ???$

II.2.e Au vu de la question précédente, il semble nécessaire de stabiliser la solution, en rajoutant des agents stabilisateurs, en maintenant à basse température, en protégeant de la lumière.

II.3. Propulseur à eau oxygénée

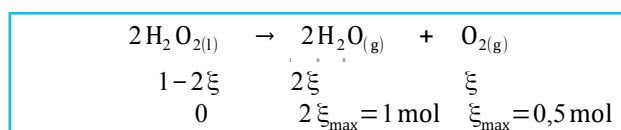
II.3.a

$$2H_2O_{2(l)} \rightarrow 2H_2O_{(g)} + O_{2(g)} \quad \Delta_r H^\circ(298 \text{ K}) = 2 * \Delta_f H^\circ(H_2O_{(g)}) - 2 * \Delta_f H^\circ(H_2O_{2(l)})$$

AN : $\Delta_r H^\circ(298 \text{ K}) = -196,00 \text{ kJ.mol}^{-1}$

La réaction est exothermique et rapide, le processus chimique est donc globalement adiabatique : la chaleur dégagée par la réaction augmente la température des gaz produits. L'eau oxygénée peut ainsi être utilisée comme carburant d'une ceinture de fusée.

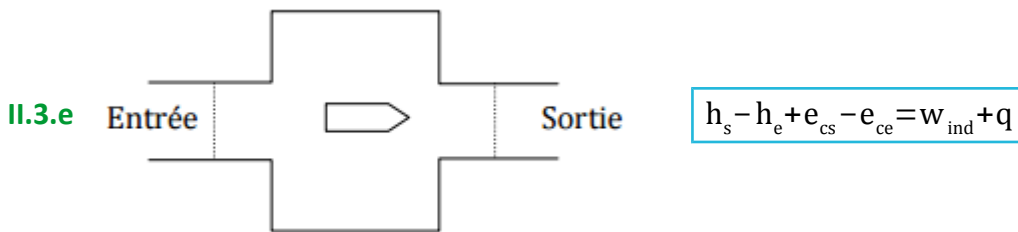
II.3.b



II.3.c $\Delta H = \xi_{\max} * \Delta_r H^\circ(298 \text{ K})$ $Q_m = -\Delta H = -\xi_{\max} * \Delta_r H^\circ(298 \text{ K})$

AN $Q_m = 98 \text{ kJ}$, $M_{H_2O_2} = 34,02 \text{ g}$, $q = Q_m/M = 2,88 \text{ MJ.Kg}^{-1}$

II.3.d Le catalyseur accélère la réaction , la réaction étant lente en l'absence du catalyseur (cf document 1)



Si l'on néglige la variation d'énergie potentielle de pesanteur comme l'indique le texte (**système unidimensionnel?**)

h : enthalpie massique

e_c énergie cinétique massique

w_{ind} travail indiquée massique (il correspond au travail échangée avec les parties mobiles de la machine)

q_{ext} transfert thermique massique avec l'extérieur de la machine

indice s : sortie , indice e : entrée

Lors du passage dans la tuyère , il n'y a aucun échange énergétique avec l'extérieur :

- la tuyère ne contient aucune partie mobile ; donc $w_{ind} = 0$

- la tuyère est calorifugée donc $q_{ext} = 0$

Dans ces conditions, le premier principe appliqué entre l'entrée et la sortie de la tuyère se traduit par

$$h_s - h_e + e_{cs} - e_{ce} = 0 \quad \text{soit} \quad e_{cs} - e_{ce} = h_e - h_s > 0, \text{ en effet}$$

les gaz issus de la réaction chimique se refroidissent lors du passage dans la tuyère .

Si on les considère comme parfaits (non indiqué dans le sujet), on peut affirmer que l'enthalpie massique à la sortie est plus faible qu'à l'entrée, l'énergie cinétique des gaz sortant est donc plus importante que celle des gaz entrant.

II.3.f. En considérant que l'énergie cinétique des gaz entrant est négligeable devant celle des gaz sortant : $v_s = v_{max}$

$v_{gaz,max}$ vérifie
$$v_{gaz,max} = \sqrt{2(h_e - h_s)}$$

II.3.f. Pour une mole d'eau oxygénée consommée soit $m = 34,02g$, on obtient 1 mol d'eau et 0,5 mol d'oxygène gazeux : $H_e - H_s = [C_{p,m}(H_2O_{(g)}) + 0,5C_{p,m}(O_{2(g)})](T_c - T_f)$ et $h_e - h_s = (H_e - H_s)/m$

AN $H_e - H_s = [64,6 + 0,5 \cdot 29,4](1350 - 400) = 75,335 \text{ kJ}$, $h_e - h_s = (H_e - H_s)/m = 2,21 \text{ MJ.kg}^{-1}$,
$$v_{gaz,max} = 2104,49 \text{ m.s}^{-1}$$

II.3.h. Le rendement indiqué est un rendement énergétique

$$\eta = \frac{\text{énergie}_{\text{sortie}}}{\text{énergie}_{\text{fournie}}} \quad \text{avec ici}$$

- **énergie_{fournie}** = q : énergie chimique massique fournie sous forme de transfert thermique

- **énergie_{sortie}** $e_{cs} = v_{gaz}^2/2$: énergie cinétique massique

AN :
$$\eta = \frac{v_{gaz}^2}{2q} = \frac{h_e - h_s}{q} = 0,77 \quad \text{C'est un très bon rendement thermodynamique , il correspond au rendement}$$

maximum de la machine puisque la modélisation proposée est idéale (aucune perte de chaleur , l'ensemble est considéré comme calorifugé)

II.3.i.

La puissance thermique fournie correspond à $D_m \cdot q$ avec D_m débit massique de l'installation.

Pour calculer ce débit massique , on considère que pendant la durée indiquée de 21,0s , le volume des deux bouteilles

d'eau oxygénée a été consommé :
$$D_m = \frac{2 \cdot \mu \cdot V_{H_2O_2}}{\Delta t} \quad \text{AN} \quad D_m = \frac{2 \cdot 1,44 \cdot 10^{-3} \cdot 19,0 \cdot 10^{-3}}{21,0} = 2,6 \text{ kg.s}^{-1}$$

$$P_{th} = 7,5 \text{ MW}$$

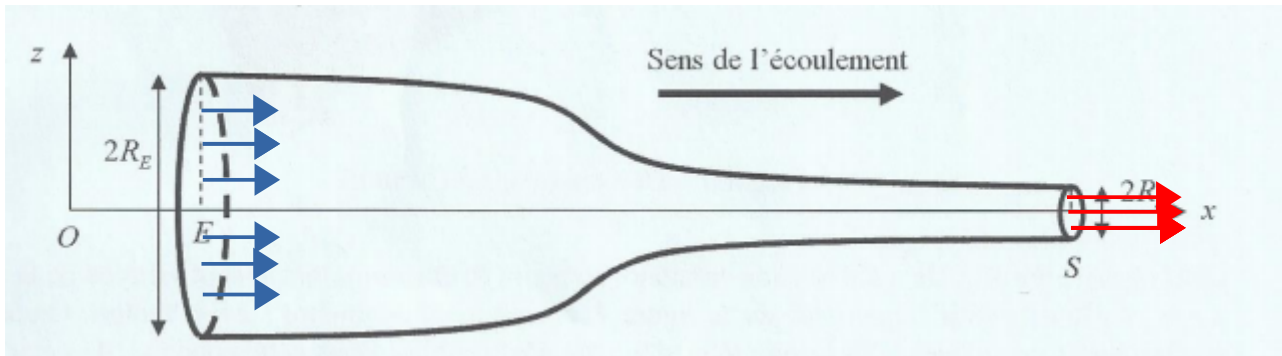
II.3.j.
$$\eta = \frac{P}{P_{thermique}} = \frac{1,10}{7,5} = 0,15 \quad \text{Le rendement réel est très inférieur au précédent, le rendement était très largement optimisé (cf remarques question 3.h)}$$

Problème III :Débitmètres

III.1. L'effet Venturi

III.1.a. Un fluide parfait est un fluide non visqueux qui s'écoule sans aucun effet dissipatif .

Les particules fluides se déplacent alors sans aucun frottement ; il y a donc glissement du fluide au niveau de la paroi de la conduite.



Le profil de vitesse est donc parfaitement uniforme au niveau de la face d'entrée , et de la face de sortie.

III.1.b.

$$D_m = \mu * v * S = \mu * v_e * S_e$$

$$D_m = \mu * v_e * \pi R_e^2$$

AN

$$v_e = \frac{D_m}{\mu * \pi * R_e^2}$$

$$v_e = 2,39 \text{ m.s}^{-1}$$

III.1.c.

La conservation du débit massique s'écrit :

$$D_m = \mu * v_e * \pi R_e^2 = \mu * v_s * \pi R_s^2$$

$$\text{soit } v_e * R_e^2 = v_s * R_s^2$$

$$v_s = \frac{v_e * R_e^2}{R_s^2}$$

$$\text{AN } v_s = 9,55 \text{ m.s}^{-1}$$

III.1.d.

Le long d'une ligne de courant d'un écoulement stationnaire d'un fluide parfait et incompressible :

$$\frac{v^2}{2} + \frac{P}{\mu} + gz = \text{constante}$$

P , pression , z altitude, v ,vitesse au point considéré

III.1.e.

Sur la ligne(ES): $\frac{v_e^2}{2} + \frac{P_e}{\mu} = \frac{v_s^2}{2} + \frac{P_s}{\mu}$, avec les relations précédentes

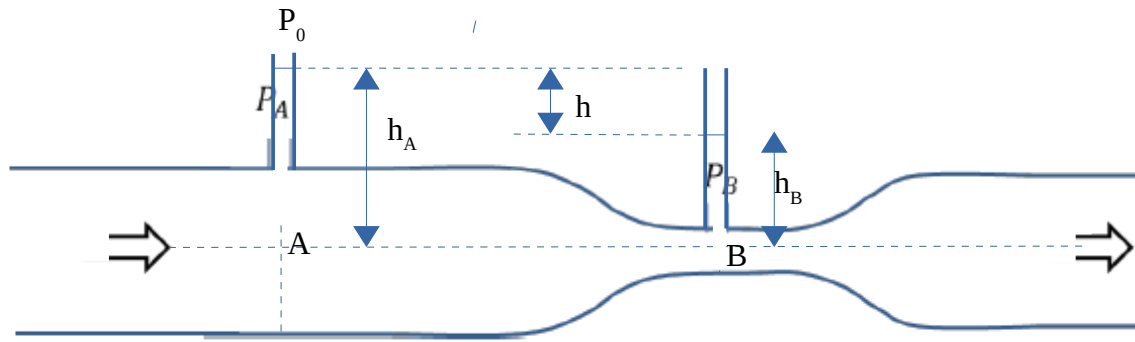
$$P_s - P_e = \mu \frac{v_e^2 - v_s^2}{2} = \mu \frac{v_e^2 - v_s^2}{2} = \frac{D_m^2}{2 * \mu^2 * \pi^2} * \left(\frac{1}{R_e^4} - \frac{1}{R_s^4} \right) \quad \text{cqfd}$$

$R_s < R_e$ donc $\frac{1}{R_e^4} - \frac{1}{R_s^4} < 0$; la pression à la sortie est donc inférieure à celle en entrée ; on retrouve , avec la

formule précédente, que la pression diminue. AN $\Delta P = -42\,744,87 \text{ Pa} = -0,43 \text{ bar}$

III.1.f. La formule précédente montre qu'en mesurant la variation de pression ,en amont(A) et au niveau du rétrécissement(B) on peut estimer le débit massique D_m et donc le débit volumique $q = D_m / \mu$:

$$P_B - P_A = \frac{D_m^2}{2 * \mu^2 * \pi^2} * \left(\frac{1}{R_B^4} - \frac{1}{R_A^4} \right) = \frac{q^2}{2 * \pi^2} * \left(\frac{1}{R_B^4} - \frac{1}{R_A^4} \right)$$



La mesure directe de la différence de pression peut se faire par l'intermédiaire de manomètre à liquide en U ou par le dispositif ci-dessus :

Si l'on admet que perpendiculairement à la direction d'écoulement (unidimensionnel), la pression au sein du fluide suit la loi de l'hydrostatique : $P_A = P_0 + \mu g h_A$, $P_B = P_0 + \mu g h_B$ **soit** $P_A - P_B = \mu g h$

Le dispositif

III.2. Débitmètre à turbine :

III.2.a. Pour un débit volumique constant(q), l'équation (10) $\frac{d\omega}{dt} + K_2 q \omega = K_1 \mu q^2$ **est une équation linéaire**

différentielle du premier ordre en ω . Forme des solutions :

$$\omega = \frac{K_1}{K_2} \mu q + A e^{-K_2 q t}$$

III.2.b. Au vu des courbes, on peut séquencer l'évolution en trois étapes :

- entre $t=0$ et $t=t_1^-$: $q=q_1$
- entre $t=t_1^+$ et $t=t_2^-$, $q=q_2$
- . pour $t > t_2$, $q=q_1$

Pour chaque étape à débit volumique constant, on observe une vitesse de rotation constante en régime établi. Avec $\omega_1 = \omega_2 / 3$ pour $q_1 = q_2 / 3$, graphiquement on retrouve la proportionnalité prévue par l'équation en régime établi.

Lors du passage de q_1 à q_2 ou de q_2 à q_1 , la réponse en ω pourrait correspondre à une forme exponentielle.

A priori ,donc, les courbes pourraient correspondre aux solutions données à la question précédente.

III.2.c. Pour considérer que le débit volumique est proportionnel à la vitesse de rotation , on doit considérer que le débit volumique q est indépendant du temps donc **établi depuis un temps assez grand devant la durée du régime transitoire correspondant à un changement de débit.**

Si l'on considère l'équation(10), **cette durée peut s'estimer à quelques τ avec $\tau = 1/K_2 q$ temps de relaxation du système .**

III.2.d. Sachant que le débit volumique $q(t) = \frac{dV}{dt}$ par intégration $V = \int_{t_0}^{t_0 + \Delta t} q(t) dt$, le principe de la mesure

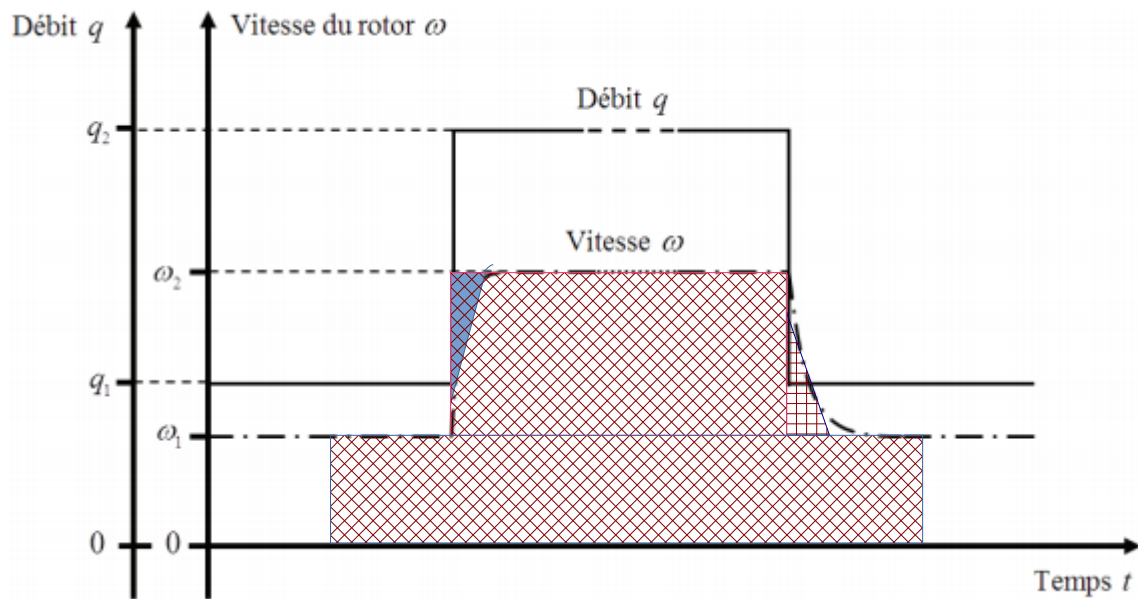
Le calcul de V indiqué en (9) donnera une mesure de V correcte si l'on peut considérer que $q(t) = k\omega(t)$ pendant l'intervalle de temps Δt .Les fluctuations de débit pendant cet intervalle de temps devront être suffisamment lentes pour que la vitesse de rotation puisse suivre ces variations sans retard.

Dans le cas d'une mesure erronée , en prenant en compte l'inertie du système et les frottements multiples, on peut dire que :

- lorsque le débit augmente rapidement, $k\omega(t)$ sera inférieur au débit instantané réel et donc le volume sera sous-évalué
- lorsque le débit diminue rapidement, le volume sera sur-évalué.

Dans le cas de l'opération ouverture et fermeture du robinet, on peut comparer le volume réel écoulé et le volume mesuré en évaluant les aires sous les courbes.

Ainsi , l'observation nous amène à considérer que l'erreur commise à l'ouverture est compensée par l'erreur commise à la fermeture .



III.2.e.

En régime stationnaire, l'équation (10) nous permet d'établir que

$$\omega = \frac{K_1}{K_2} \mu * q \quad \text{donc } k = \frac{K_2}{\mu K_1}$$

On considère ici que le débit oscille autour d'une valeur moyenne q_m :

$$q = q_m + Q \cos(\Omega t + \varphi) \quad \text{avec } q_m \gg Q \text{ et } \Omega = 2 * \pi * f$$

$$\frac{d\omega}{dt} + K_2 q \omega = K_1 \mu q^2 \Leftrightarrow \frac{1}{K_2 * q} \frac{d\omega}{dt} + \omega = \frac{K_1}{K_2} \mu q \quad \text{avec } q_m \gg Q \quad \frac{1}{K_2 * q_m} \frac{d\omega}{dt} + \omega = \frac{K_1}{K_2} \mu q$$

La mesure de q ($q_{\text{estimé}}$) est établie à partir par la relation $q_{\text{estimé}} = k\omega$ $\omega = q_{\text{estimé}} / k$

$$\frac{1}{K_2 * q_m} \frac{d\omega}{dt} + \omega = \frac{K_1}{K_2} \mu q = \frac{q}{k} \quad \text{se traduit par} \quad \tau \frac{dq_{\text{estimé}}}{dt} + q_{\text{estimé}} = q \quad \text{avec } \tau = \frac{1}{K_2 q_m}$$

Avec $q = q_m + Q \cos(2\pi f * t + \varphi)$ $q_{\text{estimé}} = q_m + q \sim$ avec $q \sim$ sinusoïdal de fréquence f .

C'est donc le terme sinusoïdal qui peut être erroné.

En notation complexe : $q \sim = \frac{Q}{1 + j\Omega * \tau} = \frac{Q}{1 + j\frac{f}{f_c}}$ avec $f_c = \frac{1}{2 * \pi * \tau} = \frac{K_2 q_m}{2 * \pi}$

On retrouve un comportement type passe-bas du point de vue fréquentiel.

Pour des fréquences inférieures à f_c , on retrouve $q_{\text{estimé}} = q$, donc bon suivi des fluctuations.

Pour des fréquences supérieures à f_c , $q_{\text{estimé}}$ sera différent q , l'erreur de mesure sera importante.

Remarque : cette fréquence de coupure dépend du débit moyen mesuré.

III.2.f.

Comme l'indique le schéma, le débitmètre rétractable est utilisé dans le cas de conduite de diamètre important.

L'intérêt est d'avoir un appareil qui pourra être retiré après la mesure ; le système mécanique de l'hélice sera moins exposé. On peut espérer ainsi gagner en longévité (dans le cas de conduite à gros débit, les effets mécaniques d'usure dus au passage du fluide peuvent être conséquents)

Il faut le positionner dans une zone d'écoulement laminaire, éviter les zones de turbulence. L'inertie du système étant plus faible, l'appareil résiste moins aux variations de contraintes mécaniques.

En positionnant le capteur dans une zone de vitesse égale à la vitesse moyenne, v_m , on pourra estimer $q = S v_m$ qui correspond au débit recherché.