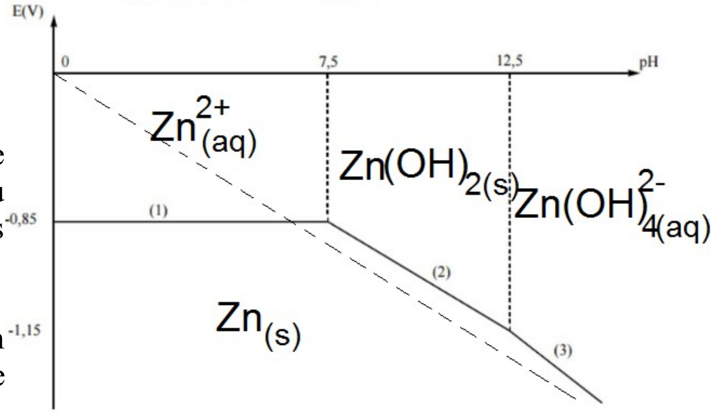
3TSI - Physique-Chimie - Colle 4a

Question de cours Rappeler l'expression du nombre de Reynolds en précisant les unités (on donnera plusieurs unités équivalentes pour la viscosité). Que représente la distance qui apparaît dans cette expression ? Quelle est l'allure du profil de vitesse dans une conduite lorsque Re est "petit" ? Lorsqu'il est "grand" ?



Exercice 1 Diagramme du zinc

Le diagramme du zinc a été tracé pour une concentration $C_0 = 10^{-3}$ mol.L^{-1} . La droite frontière du couple $H_2O/H_{2(g)}$ a également été tracée en pointillés pour une pression partielle $P_0 = 1$ bar.

1) Sur un morceau de zinc plongé dans une solution aqueuse acide, on observe l'apparition de bulles. Ecrire l'équation-bilan de la réaction qui se produit.

2) Retrouver par le calcul la pente de la frontière entre $Zn(OH)_{2(s)}$ et $Zn_{(s)}$. Retrouve-t-on ce résultat graphiquement ?

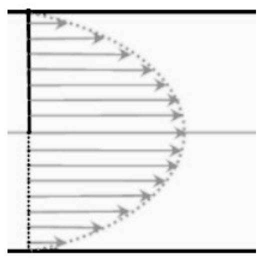
3) Retrouver à l'aide du diagramme
- $E^0(Zn^{2+}/Zn)$
- $pKs(Zn(OH)_{2(s)})$

Exercice 2 Ecoulement sanguin

A la sortie du coeur, l'aorte peut être considérée comme une conduite cylindrique de rayon $a_0 = 1$ cm. Le débit volumique est $D_{aorte} = 6$ L.min^{-1} et l'écoulement peut être considéré comme stationnaire. La viscosité dynamique du sang est $\eta_S \sim 4.10^{-3}$ Pl et sa masse volumique vaut $\mu = 1,0.10^3$ kg.m^{-3}

1) Donner l'ordre de grandeur de η_{eau}. Le sang est-il plus visqueux ou moins visqueux que l'eau ?
2) Calculer la vitesse v_{aorte} du sang dans l'aorte (on supposera le profil de vitesse uniforme).
3) Quelle hypothèse faut-il faire au sujet du sang pour supposer un profil de vitesse uniforme ?

L'aorte se divise en N artérioles de rayon $a_1 = 20$ µm. Dans une artériole, la vitesse du sang est de l'ordre de 5 mm.s^{-1}.



4) Calculer le nombre de Reynolds de l'écoulement dans une artériole.
5) Estimer le nombre N d'artérioles.

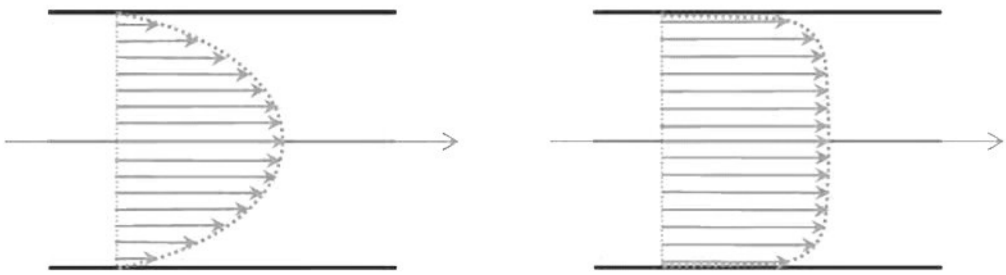
L'allure réelle du profil de vitesse dans une artériole est représentée ci-contre.

6) En quel(s) point(s) la force surfacique de viscosité est-elle maximale en intensité ?

3TSI - Physique-Chimie - Colle 4a
Corrigé

Question de cours Nombre de Reynolds : $Re=\frac{\mu v L}{\eta}$ μ masse volumique, v vitesse du fluide (ou vitesse moyenne), L distance caractéristique (diamètre de la conduite/ taille de l'obstacle), η viscosité dynamique du fluide (en Poiseuille, Pa.s ou $kg.m^{-1}.s^{-1}$)

Re < 1 Re > 10^3



Exercice 1 Diagramme du zinc

1) Pour un pH faible, les domaines de H_2O et $Zn_{(s)}$ sont disjoints, donc Zn réagit avec H_2O. C'est Zn^{2+} qui se forme en milieu acide.
$H_2O + 2\ H^+ + 2\ e^- = H_{2(g)} + H_2O$ $Zn_{(s)} = Zn^{2+}_{(aq)} + 2\ e^-$
Equation-bilan : $Zn_{(s)} + 2\ H^+ = Zn^{2+}_{(aq)} + H_{2(g)}$
2) Frontière $Zn(OH)_{2(s)}/Zn_{(s)}$: $Zn(OH)_{2(s)} + 2\ H^+ + 2\ e^- = Zn_{(s)} + 2\ H_2O$ $E=E^0_{Zn(OH)_2/Zn}+0{,}03\log[H^+]^2$
A la frontière $E=E^0-0{,}06\,pH$, la pente vaut -0,06 V.
Graphiquement : avec les points (7,5 ; -0,85 V) et (12,5 ; -1,15 V) => pente $\frac{-0{,}30}{5}=-0{,}06\,V$
3) Frontière $Zn^{2+}_{(aq)}/Zn_{(s)}$: $Zn^{2+}_{(aq)} + 2\ e^- = Zn_{(s)}$ $E=E^0_{Zn^{2+}/Zn}+0{,}03\log[Zn^{2+}]$
A la frontière $[Zn^{2+}] = C_0$ $E_f=E^0_{Zn^{2+}/Zn}+0{,}03\log C_0$ donc $E^0=E_f-0{,}03\log C_0$
Avec E_f = -0,85 V on obtient $E^0_{Zn^{2+}/Zn}=-0{,}76\,V$
Frontière $Zn(OH)_{2(s)}$ / $Zn^{2+}_{(aq)}$: $Zn(OH)_{2(s)} = Zn^{2+}_{(aq)} + 2\ HO^-_{(aq)}$ $K_s = [Zn^{2+}][HO^-]^2$
A la frontière $[Zn^{2+}] = C_0$ et pH_f = 7,5 donc $[H^+] = 10^{-7,5}\ mol.L^{-1}$, on en déduit $[HO^-] = 10^{-6,5}\ mol.L^{-1}$
On obtient $K_S = 10^{-16}$ donc **pK_s = 16**.

Exercice 2 Ecoulement sanguin

1) $\eta_{eau} \sim 10^{-3}$ Pl, donc $\eta_{sang} > \eta_{eau}$: le sang est plus visqueux que l'eau.
2) $v_0=\frac{D_{v0}}{\pi a_0^2}$ (on suppose la vitesse uniforme) => $v_0 = 0{,}32\ m.s^{-1}$
3) Un profil de vitesse uniforme est caractéristique d'un fluide parfait.
4) $Re=\frac{\mu v_1 . 2a_1}{\eta_S}=\frac{1{,}0.10^3.5.10^{-3}.40.10^{-6}}{4.10^{-3}}=5.10^{-2}$
5) $D_{v0} = N\ D_{v1}$ où D_{v1} est le débit volumique dans une artériole, donc $N=\frac{D_{v0}}{D_{v1}}=\frac{D_{v0}}{\pi a_1^2 . v_1}=1{,}6.10^7$
6) La force surfacique de viscosité $\overrightarrow{f_{s,visc}}$ est maximale là où les variations de vitesse sont maximales => sur les parois.

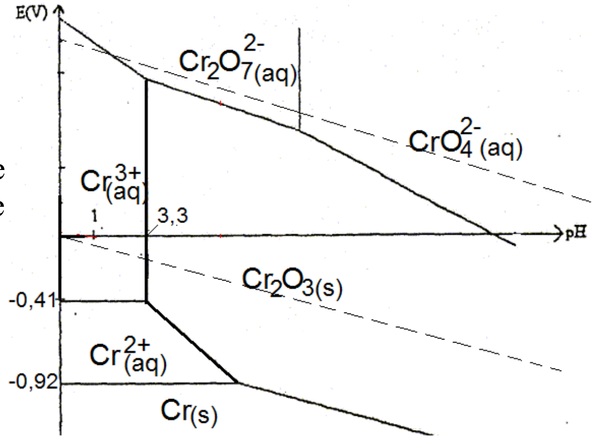
3TSI - Physique-Chimie - Colle 4b

Question de cours Force surfacique de viscosité. Ordres de grandeur de la viscosité. Unités associées.

Exercice 1 Diagramme du Chrome

Le diagramme du Chrome est tracé pour une concentration C_0. Les droites frontières des couples de l'eau sont également tracées en pointillés.

<u>Données :</u> $E^0(Cr^{3+}/Cr^{2+}) = -0,41$ V
$E^0(Cr^{2+}/Cr) = -0,86$ V
$pK_e = 14$



1) Le chrome est-il stable en solution aqueuse ? Ecrire l'équation-bilan de la réaction qui se produit dans une eau aérée en milieu très basique.

2) Déterminer la pente de la frontière CrO_4^{2-}/Cr_2O_3

3) Retrouver à partir du diagramme :
- la valeur de la concentration de tracé C_0
- la valeur de la constante K_1 associée à la réaction d'équation-bilan $Cr_2O_{3(s)} + 3\,H_2O = 2\,Cr^{3+} + 6\,HO^-$

Exercice 2 Tuyau d'arrosage

Un tuyau d'arrosage cylindrique de rayon intérieur R = 9,0 mm et de longueur 10 m, relié à un réservoir de récupération d'eau de pluie permet de remplir un arrosoir de 11 litres en 40 secondes. On suppose l'écoulement stationnaire et on donne la masse volumique de l'eau $\mu = 1,0.10^3$ kg.m^{-3}.

1) Calculer le débit volumique et le débit massique de l'écoulement.
2) Déterminer la vitesse v_0 de l'eau dans le tuyau en précisant les hypothèses utilisées.
3) Calculer le nombre de Reynolds pour cet écoulement.
4) <u>En maintenant le débit constant,</u> comment Re évolue-t-il si le diamètre du tuyau diminue ?

On ajoute au bout du tuyau un raccord en T, grâce auquel on relie deux tuyaux secondaires de rayon intérieur R' = 5,0 mm. On suppose que le débit dans le tuyau principal est identique à celui calculé précédemment.

5) Calculer la vitesse de l'eau dans les tuyaux secondaires.

3TSI - Physique-Chimie - Colle 4b
Corrigé

Question de cours La force élémentaire $\overrightarrow{dF}_{visc}$ de viscosité exercée par le fluide situé <u>au-dessus</u> d'une surface élémentaire dS sur le fluide situé <u>en-dessous</u> s'exprime sous la forme : $\overrightarrow{dF}_{visc}=\eta\frac{dv}{dy}dS\,\vec{u}_x$

(vitesse selon $\vec{u}_x$ et dépend de y)

La viscosité dynamique η ("êta") a pour unité le Poiseuille (PI), ou $kg.m^{-1}.s^{-1}$, ou Pa.s: $\eta_{air}\sim 2.10^{-5}$ PI, η_{eau} ~ 1.10^{-3} PI, $\eta_{huile}\sim 0{,}1$ PI

Exercice 1 Diagramme du chrome

1) Les domaines de $Cr_{(s)}$ et H_2O sont disjoints, donc $Cr_{(s)}$ réagit avec H_2O, il n'est pas stable en solution aqueuse. En milieu basique et en présence de $O_{2(g)}$ c'est CrO_4^{2-} qui est formé.

$Cr_{(s)} + 4\,H_2O = CrO_4^{2-}{}_{(aq)} + 8\,H^+ + 6\,e^-$ $\qquad$ $O_{2(g)} + 4\,H^+ + 4\,e^- = 2\,H_2O$

Equation-bilan : $2\,Cr_{(s)} + 2\,H_2O + 3\,O_{2(g)} = 2\,CrO_4^{2-}{}_{(aq)} + 4\,H^+_{(aq)}$

En milieu basique : $2\,Cr_{(s)} + 4\,HO^-_{(aq)} + 3\,O_{2(g)} = 2\,CrO_4^{2-}{}_{(aq)} + 2\,H_2O$

2) Frontière CrO_4^{2-}/Cr_2O_3 $\quad 2\,CrO_4^{2-}{}_{(aq)} + 10\,H^+ + 6\,e^- = Cr_2O_{3(s)} + 5\,H_2O$

$E=E^0+0{,}01\log\left([H^+]^{10}[CrO_4^{2-}]^2\right)$ $\qquad$ à la frontière $[CrO_4^{2-}] = C_0$

$E_f=E^0+0{,}02\log C_0-0{,}10\,pH$ $\qquad$ pente : -0,10 V

3) Frontière Cr^{2+}/Cr : $Cr^{2+}_{(aq)} + 2\,e^- = Cr_{(s)}$ $\qquad E=E^0+0{,}03\log[Cr^{2+}]$

A la frontière $E_f=E^0+0{,}03\log C_0$ donc $\log C_0=\frac{E_f-E^0}{0{,}03}=-2$ donc $C_0=10^{-2}mol.L^{-1}$

Frontière Cr^{3+}/Cr_2O_3 : $Cr_2O_{3(s)} + 3\,H_2O = 2\,Cr^{3+}_{(aq)} + 6\,HO^-$ $\qquad K_1=[Cr^{3+}]^2[HO^-]^6$

Sur la frontière $[Cr^{3+}] = C_0$ et $pH_f = 3{,}3$ donc $[H^+] = 10^{-3,3}$ et $[HO^-] = Ke/[H^+] = 10^{-10,7}$

On en déduit $K_1 = 10^{-68,2}$

Exercice 2 Tuyau d'arrosage

1) $D_v=\frac{11.10^{-3}}{40}=2{,}75.10^{-4}\,m^3.s^{-1}$ $\qquad D_m=\mu D_V=2{,}75.10^{-1}\,kg.s^{-1}$

2) On suppose le profil de vitesse uniforme (fluide parfait) $v_0=\frac{D_v}{S}=\frac{D_v}{\pi R^2}=1{,}1\,m.s^{-1}$

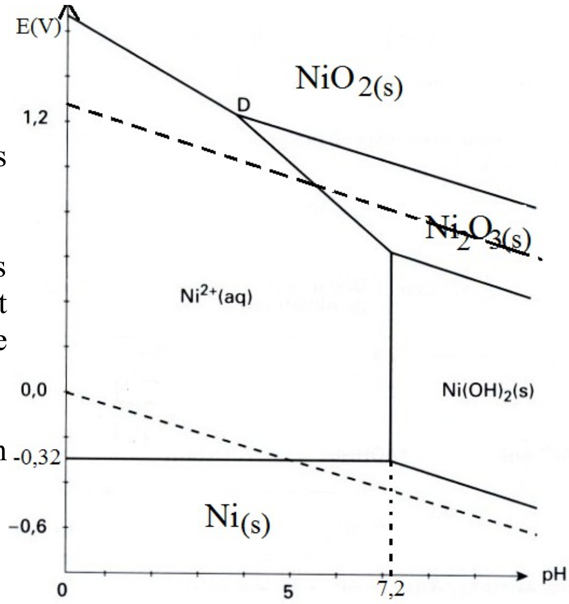
3) $Re=\frac{\mu v_0.2R}{\eta}=\frac{1{,}0.10^3.1{,}1.18.10^{-3}}{1.10^{-3}}\simeq 2.10^4$

4) $Re=\frac{\mu v d}{\eta}$, on a $v=\frac{D_v}{\pi d^2/4}$ donc $\Re=\frac{4\mu D_v}{\eta\pi d}$. Si D_v reste constant, Re augmente quand d diminue.

5) Dans chaque tuyau secondaire $D_v' = D_v/2$ (conservation du débit volumique, on suppose le fluide incompressible). $v'=\frac{D_{v'}}{S'}=\frac{D_v/2}{\pi R'^2}=1{,}75\,m.s^{-1}$

Question de cours Ecrire la relation de Bernoulli dans le cas général en précisant les unités. Quelles sont les hypothèses à vérifier pour appliquer la relation classique? La relation généralisée?

Exercice 1 Diagramme du Nickel



Le diagramme du nickel est tracé pour $C_0 = 1{,}0.10^{-2}$ mol.L^{-1}
Les droites frontières des couples de l'eau sont représentées en pointillés.

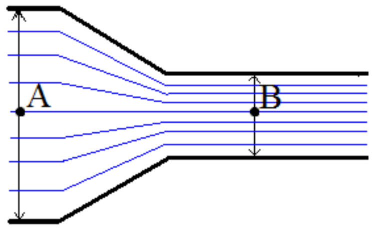
Lors d'une expérience, de la poudre de nickel est placée dans une solution aqueuse acide : on observe un dégagement gazeux. On ajoute ensuite une solution d'hydroxyde de sodium (Na^+,HO^-) et on observe l'apparition d'un précipité.

1) Interpréter ces observations en écrivant les équations-bilan des réactions.

2) Retrouver la pente de la frontière $Ni_2O_{3(s)}/Ni(OH)_{2(s)}$

3) Déterminer grâce au diagramme :
- $E^0(Ni^{2+}/Ni)$
- $pK_s(Ni(OH)_2)$

Exercice 2 Rétrécissement dans une conduite



On étudie l'écoulement stationnaire de l'eau (supposée incompressible) dans une conduite cylindrique qui présente un rétrécissement. On note R_A le rayon de la conduite au point A et R_B le rayon au point B. Le profil de vitesse est supposé uniforme sur chaque section droite.

$\mu_{eau} = 1{,}0.10^3$ kg.m^{-3}

1) Par un raisonnement qualitatif, comparer v_A et v_B (préciser les hypothèses utilisées).
2) On mesure $v_A = 0{,}5$ m.s^{-1} et $R_A = 10$ cm. Calculer le débit volumique D_v et le débit massique D_m au point A.
3) En utilisant un ordre de grandeur pour η_{eau}, calculer la valeur du nombre de Reynolds au point A.
4) On mesure $v_B = 4{,}0$ m.s^{-1} ; en déduire la valeur du rayon R_B.

Le profil réel de vitesse dans la conduite au niveau du point A présente une allure parabolique, du type $v(r)=\alpha r^2+\beta$ où r est la distance par rapport au centre de la conduite. On note v_{max} la vitesse du fluide au centre de la conduite.

5) Grâce aux conditions aux limites, déterminer l'expression de α et β en fonction de v_{max} et R_A.
6) Représenter l'allure du profil de vitesse.

3TSI - Physique-Chimie - Colle 4c
Corrigé

Question de cours Relation de Bernoulli : entre deux points d'une même ligne de courant, dans un écoulement stationnaire d'un fluide parfait et incompressible : $\frac{P_S}{\mu}+\frac{1}{2}v_S^2+g z_S=\frac{P_E}{\mu}\frac{1}{2}v_E^2+g z_E$

P en Pa, v en m.s^{-1}, z en m (les trois termes $\frac{P}{\mu}$, $\frac{1}{2}v^2$ et gz s'expriment en J.kg^{-1})

Pour un fluide réel, avec des éléments actifs: $\left(\frac{P_s}{\mu}+\frac{1}{2}v_s^2+g z_s\right)=\left(\frac{P_e}{\mu}+\frac{1}{2}v_e^2+g z_e\right)+w_i-\Delta e_{pertes}$

avec $\Delta e_{pertes}>0$ est la perte de charge exprimée en énergie massique (J.kg^{-1})

Exercice 1 Diagramme du Nickel

1) En milieu acide, $Ni_{(s)}$ n'est pas stable en présence de H_2O (domaines disjoints), c'est Ni^{2+} qui se forme.
$Ni_{(s)} = Ni^{2+}_{(aq)} + 2\ e^-$ $\quad$ $H_2O + 2\ H^+ + 2\ e^- = H_{2(g)} + H_2O$
$Ni_{(s)} + 2\ H^+ = Ni^{2+}_{(aq)} + H_{2(g)}$ $\quad$ Le gaz qui se dégage est le dihydrogène.
L'ajout des ions HO^- provoque une augmentation du pH, $Ni(OH)_{2(s)}$ se forme à partir de Ni^{2+}.
$Ni^{2+}_{(aq)} + 2\ HO^-_{(aq)} = Ni(OH)_{2(s)}$ $\quad$ Le précipité formé est $Ni(OH)_{2(s)}$

2) Frontière $Ni_2O_3/Ni(OH)_2$ $\quad$ $Ni_2O_{3(s)} + H_2O + 2\ H^+ + 2\ e^- = 2\ Ni(OH)_{2(s)}$
A la frontière $E_f=E^0+0{,}03\log[H^+]^2=E^0-0{,}06\,pH$ $\quad$ pente : -0,06 V

3) Frontière $Ni^{2+}_{(aq)}/Ni_{(s)}$: $Ni^{2+}_{(aq)} + 2\ e^- = Ni_{(s)}$
$$E=E^0+\frac{0{,}06}{2}\log\left([Ni^{2+}]\right)$$
A la frontière $[Ni^{2+}] = C_0$ donc $E_f = E^0 + 0{,}03\log(C_0)$
donc $E^0 = E_f - 0{,}03\log(C_0) = -0{,}26$ V

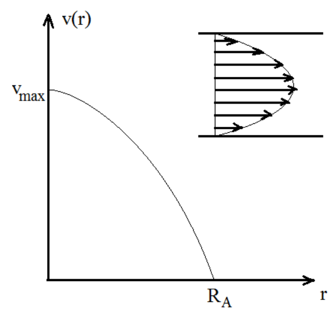
Frontière $Ni^{2+}/Ni(OH)_{2(s)}$: $Ni(OH)_{2(s)} = Ni^{2+}_{(aq)} + 2\ HO^-_{(aq)}$
constante $K_s = [Ni^{2+}][HO^-]^2$

à la frontière $[Ni^{2+}] = C_0$ $\quad$ $K_s=C_0[HO^-]_f^2=C_0\left(\frac{K_e}{[H^+]_f}\right)^2$

On lit $pH_f = 7{,}2$ donc $K_s = 2{,}5.10^{-16}$ $\quad$ $pK_s = 15{,}6$

Exercice 2 Rétrécissement dans une conduite

1) L'écoulement est stationnaire et le fluide est incompressible donc le débit volumique se conserve. On observe que les lignes de courants se rapprochent entre A et B, on en déduit $v_A < v_B$.
2) $D_v = Sv = \pi.\ R_A^2.\ v_A = 1{,}6.10^{-2}$ m^3.s^{-1} $\quad$ $D_m = \mu\ D_v = 16$ kg.s^{-1}
3) $Re=\frac{\mu v_A . 2R_A}{\eta}=\frac{1{,}0.10^3.0{,}5.20.10^{-2}}{1.10^{-3}}\simeq 10^5$



4) Conservation du débit volumique : $D_{vA} = D_{vB} \Rightarrow \pi.\ R_A^2.\ v_A = \pi.\ R_B^2.\ v_B \Rightarrow$
$$R_B=R_A\sqrt{\frac{v_A}{v_B}}=3{,}5\,\text{cm}$$
5) Sur une paroi, la vitesse d'un fluide réel est égale à celle de la paroi. On a donc $v(R_A) = 0 = \alpha\ R_A^2 + \beta$
Au centre, on a $v(0) = v_{max} = \beta$. On en déduit $\beta = v_{max}$ puis $\alpha = -\ v_{max}/(R_A^2)$
6) $v(r)=v_{max}\left(1-\frac{r^2}{R_A^2}\right)$

3TSI - Physique-Chimie - Colle 4
Exercices supplémentaires

Exercice Glisser sur l'eau

Un ski qui glisse "sur la neige" glisse en réalité sur une mince couche d'eau liquide, d'une épaisseur de quelques dizaines de microns, qui s'écoule entre la neige et le ski.

On suppose que la couche d'eau présente une épaisseur e constante ; on peut alors considérer que la vitesse de l'eau ne dépend que de la coordonnée verticale z. La vitesse du ski dans le référentiel terrestre est notée $\vec{v_0} = v_0 \vec{e_x}$

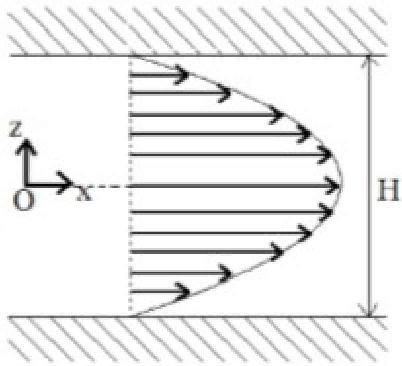
1) Réaliser un schéma de la situation et représenter l'allure du profil de vitesse dans la couche d'eau. Proposer une expression aussi simple que possible pour la vitesse v(z) de l'eau en fonction de z, v_0 et e.

2) Exprimer la force surfacique de viscosité $\|\overrightarrow{f_{visc}}\|$ exercée par l'eau sur le ski ; estimer l'ordre de grandeur de la force totale subie par le ski pour une vitesse de 50 km/h. Est-ce la seule force de frottement à prendre en compte pour étudier le mouvement du skieur ?

3) Pour expliquer la formation de cette couche d'eau liquide, on évoque souvent le transfert thermique lié aux frottements entre le ski et la neige. D'après l'allure inhabituelle du diagramme (P,T) de l'eau, quelle autre explication peut-on proposer ?

Exercice Force de cisaillement

On étudie l'eau s'écoulant dans une conduite de section rectangulaire dont la largeur L = 50 cm (dans la direction Oy) est considérée comme très grande devant la hauteur H = 3 cm. On considère que l'écoulement, unidirectionnel, présente un profil parabolique de vitesse maximale v_0.

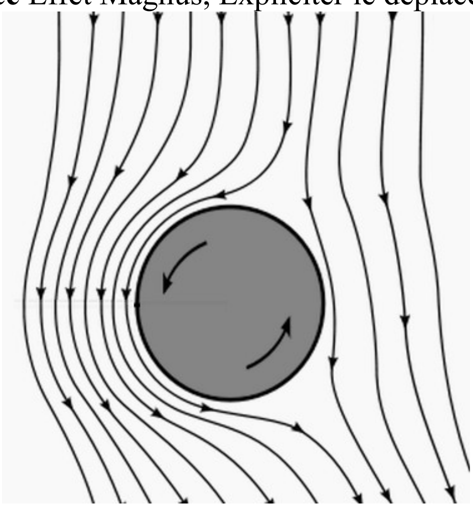


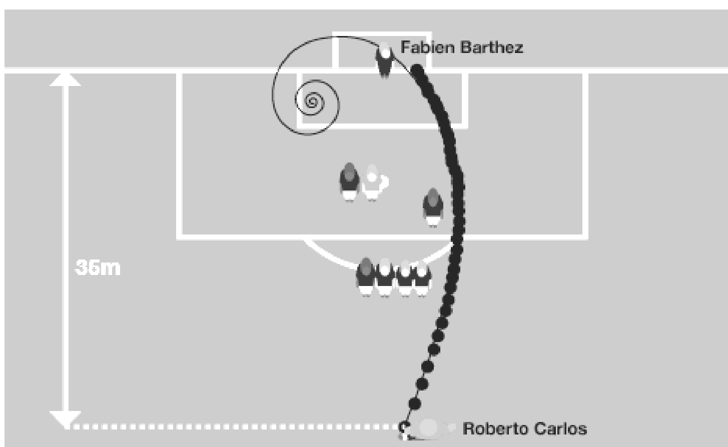
1) Exprimer la vitesse v_x en fonction de v_0, z et H.

2) Exprimer la force surfacique de viscosité $\vec{f}_{s,visc}(z)$ en un point quelconque de l'écoulement étudié ici. En quels point de l'écoulement est-elle nulle ? maximale ?

3) Exprimer la norme de la force surfacique subie par la conduite. Indiquer la direction et le sens de la force totale subie par la conduite. Déterminer son expression pour une portion de conduite de longueur ℓ = 1 m (on négligera les petites surfaces latérales).
A.N. pour $\eta = 1.10^{-3}$ PI et $v_0 = 2,0\ m.s^{-1}$

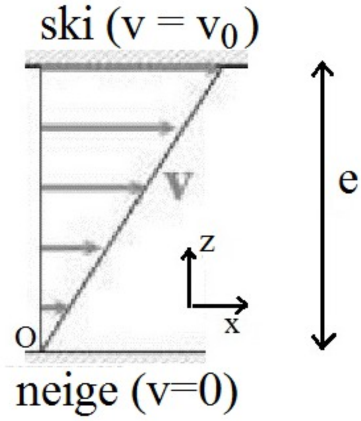
Exercice Effet Magnus, Expliciter le déplacement inhabituel de ce ballon de foot





3TSI - Physique-Chimie - Colle 4
Exercices supplémentaires - Corrigé

Glisser sur l'eau



1) La vitesse d'un fluide réel sur une paroi est égale à la vitesse de la paroi : on obtient ainsi deux conditions aux limites :

$v(z=0) = 0$ $\quad\quad$ $v(z=e) = v_0$

En supposant un profil linéaire de la forme $v(z) = a + b\,z$ et en utilisant les conditions aux limites, on obtient $a = 0$ et $b = v_0/e$

$$v(z) = v_0.(z/e)$$

2) $\|\overrightarrow{f_{s,visc}}\| = \eta \left|\frac{dv}{dz}\right| = \eta \frac{v_0}{e}$ (unité : $N.m^{-2}$)

Cette expression donne la force surfacique exercée entre deux couches de fluide, mais aussi entre le fluide et la paroi.

On en déduit la force de viscosité exercée par l'eau sur le ski :

$$\|\overrightarrow{F_{visc}}\| = \|\overrightarrow{f_{s,visc}}\| . S_{ski} = \eta \frac{v_0}{e} S_{ski}$$

Avec $e = 50$ µm, $S = 2{,}00*0{,}10 = 0{,}20$ m^2 (2m sur 10 cm) et $\eta = 1.10^{-3}$ PI, on obtient $\|\overrightarrow{F_{visc}}\| = 55$ N

Il faudrait également prendre en compte la force de frottement de l'air.

3) D'après le diagramme de l'eau (pente S-L décroissante), une augmentation de température provoque effectivement le changement d'état solide => liquide (fusion) ; cependant, l'augmentation de pression liée au poids du skieur pourrait aussi favoriser ce changement d'état.

Force de cisaillement

1) Conditions aux limites : $\begin{cases} v_x(-\frac{H}{2}) = 0 \\ v_x(+\frac{H}{2}) = 0 \end{cases}$ (vitesse nulle au voisinage d'une paroi immobile).

$$v_x = v_0\left(1 - \left(\frac{z}{(H/2)}\right)^2\right) = v_0\left(1 - \left(\frac{2z}{H}\right)^2\right) \quad \boxed{v_x(z) = v_0\left(1 - \frac{4z^2}{H^2}\right)}$$

2) $\vec{f}_{s\,visc}(z) = \eta \frac{\partial v_x}{\partial z} \vec{e_x}$ $\quad$ avec $\frac{\partial v_x}{\partial z} = -v_0 \times \frac{8z}{H^2}$

$$\boxed{\vec{f}_{s\,visc}(z) = -\eta \cdot \left(\frac{8 v_0 z}{H^2}\right) \vec{e_x}}$$

Nulle en $z = 0$ (au centre)

Maximale en $z = \pm \frac{H}{2}$ (sur les parois)

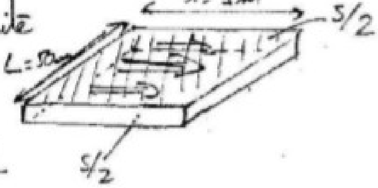
3) La force surfacique $\vec{f}_{s\ \text{fluide}\to\text{conduite}}$ est égale en norme à $\vec{f}_{s\,visc}(\pm\frac{H}{2})$

donc $\|\vec{f}_{s\ \text{fluide}\to\text{conduite}}\| = \eta \times 8 v_0 \frac{H/2}{H^2} = \boxed{\eta \times 4\frac{v_0}{H}}$

$\vec{f}_{s\ \text{fluide}\to\text{conduite}}$ a partout la même orientation (dirigée selon $\underline{+\vec{e_x}}$)

donc $\|\overrightarrow{F}_{\text{fluide}\to\text{conduite}}\| = \eta \times \frac{4 v_0}{H} \times S_{\text{conduite}}$

avec $S_{\text{conduite}} = 2 L \times \ell$



$\|\vec{F}_{\text{fluide}\to\text{conduite}}\| = \eta \times \frac{4 v_0}{H} \times 2 \times \ell \times L$

AN $\|\vec{F}\| = 1.10^{-3} \times \frac{8 \times 2{,}0}{3.10^{-2}} \times 1 \times 0{,}5 = \underline{0{,}27\,N}$

Effet Magnus

Les hypothèses sont les suivantes :

- écoulement stationnaire
- fluide parfait et incompressible (a priori faux pour l'air mais les variations de pression risque d'être "faibles"
- variations d'altitude négligeables dans la relation de Bernoulli

Entre deux points A et B d'une même ligne de courant, la relation de Bernoulli permet d'écrire

$$P_B = P_A + \frac{1}{2}\mu g\left(v_A^2 - v_B^2\right)$$

Si les lignes voisines se rapprochent entre deux points A et B d'une même ligne de courant, alors la vitesse augmente ($v_B > v_A$), on en déduit que la pression diminue ($P_B < P_A$).

Pour ce ballon la pression à gauche est plus faible que la pression à droite: le ballon se déplace sur la gauche à cause de cette différence de pression.