

Partie chimie, Centrale PSI 2015

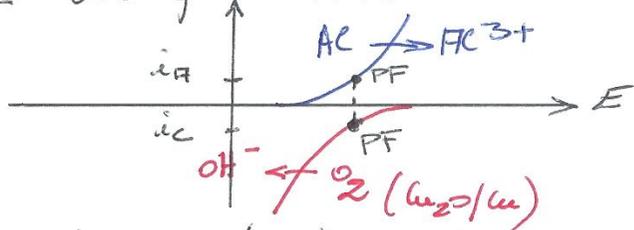
①

1. Corrosion de Al.

l'étape 1 montre la formation de

- H^+ et Al^{3+} au niveau de $Al(s)$
- OH^- au niveau de $Cu_2O(s)/Cu(s)$ par réduction de $O_2(g)$.

O2 on peut extraire les 2 courbes:



et observe l'existence d'un point de fonctionnement de la pile de corrosion tel que $i_a + i_c = 0$ avec $i_a \neq 0$.

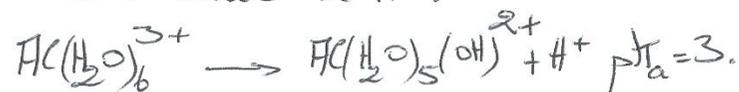
on peut donc interpréter l'étape 1:

- Al joue le rôle d'anode sacrificielle on observe

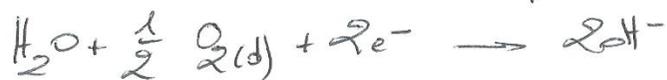


comme Al^{3+} est acide il y a bien

production locale de H^+ : ②

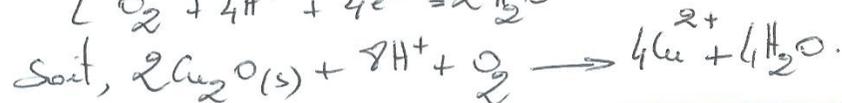
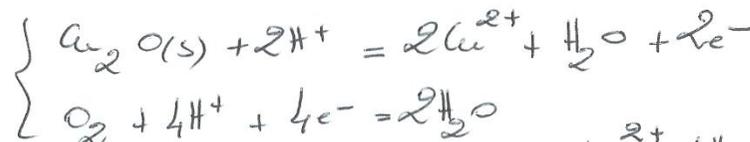


- $Cu_2O(s)/Cu(s)$ joue le rôle de cathode inerte où se produit



2. Dissolution de $Cu_2O(s)$

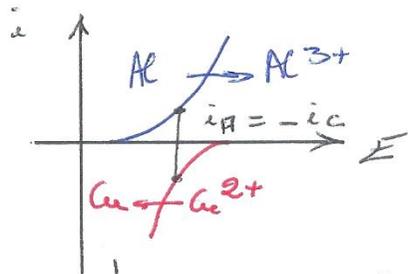
① Faisons les 1/2 réactions



② La réaction précédente est favorisée par l'apport d'ions H^+ donne par l'activité locale dans la crevasse de Cu_2O est attaqué principalement près de l'attaque antérieure de $Al(s)$: cf. étape 2.

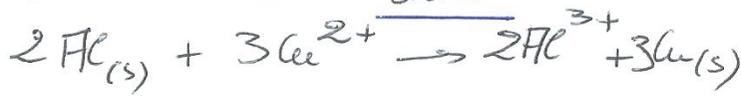
3. Redéposition du cuivre.

On extrait là aussi les 2 courbes intéressantes:



(3)

et l'on observe que, ici encore, il existe un potentiel mixte pour lequel $i_A + i_C = 0$ et $i_A \neq 0$. La réaction directe est possible.



4) Conclusions

- On a bien une correspondance entre l'analyse et les 3 étapes. Dans l'étape 3 cependant on devrait observer sur le schéma une disparition de Al là où Cu se dépose (réaction directe) et on observe que Cu(s) est attaqué aussi. Lorsque la couche de $Al_2O_3(s)$ est dissoute, Cu(s) se recouvre à nouveau de $Al_2O_3(s)$ qui se dissout et ainsi de suite.

- La photo 1 montre une séparation très fine entre Al et Cu en surface = à l'échelle de la photo (100µm) on ne peut pas évaluer cette épaisseur

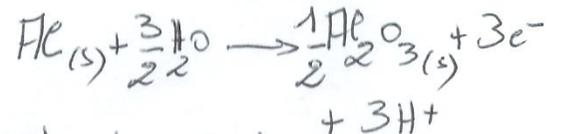
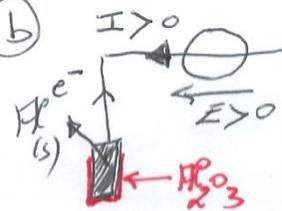
(4)

- La photo 2 montre parfaitement la crevasse localisée à l'interface. On peut ici évaluer sa largeur à 10µm environ. que le cuivre se redépose sur l'aluminium.

5) Protéctions

a) La courbe $j(E - E_{ref})$ correspond à la passivation de Al(s):
 → a = formation de $Al_2O_3(s)$ qui se dépose sur Al: $j \uparrow$
 → b = la quantité de $Al_2O_3(s)$ est suffisante pour que $j \downarrow$ (la surface susceptible d'être corrodee diminue)
 → c = la totalité de Al(s) est recouverte de $Al_2O_3(s)$: j est presque nulle.

b)



Al est l'anode de l'électrolyseur connecté au \oplus du générateur

(c) $E - E_{ref} = -0,25V$ (5)

• A cette valeur, j vaut environ $150 \mu A cm^{-2}$

• en 1h la charge électronique échangée par unité de surface vaut

$$q_{surf} = j \Delta t = 0,54 C cm^{-2}$$

• le nb de moles de Al_2O_3 produites/cm² est $m_{Al_2O_3, surf} = \frac{q_{surf}}{6NAe} = 9,31 \cdot 10^{-7} mol/cm^2$

soit $m_{Al_2O_3, surf} = 9,31 \cdot 10^{-7} \cdot (2 \cdot 27 + 3 \cdot 16)$

$$m_{surf} = 9,5 \cdot 10^{-5} g cm^{-2}$$

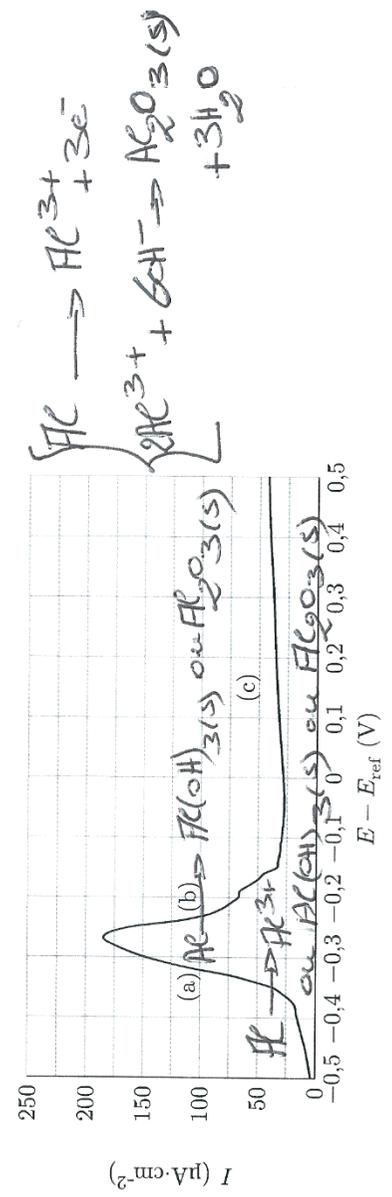
or $d_{Al_2O_3} = 4$ soit $\rho = 4 g cm^{-3}$

l'épaisseur vaut donc

$$e = \frac{m_{surf}}{\rho} = 2,4 \cdot 10^{-5} cm, \text{ soit}$$

$$\underline{e = 0,24 \mu m}$$

ANNEXE A LA QUESTION (5) (b)



Corrigé de CC INP PC 21

Q30. $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \text{terme convectif} = \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \text{grad}) \vec{v}$

avec

- terme convectif : terme d'accélération due au déplacement, pendant dt, de la particule dans un champ de vitesse non uniforme.

- $\frac{\partial \vec{v}}{\partial t}$ = accélération locale, due en 1 point fixe, au caractère instationnaire de l'écoulement

33. $Re = \rho \frac{v d}{\mu} = 10^2 \ll 1 \Rightarrow$ la convection est négligeable
 $\vec{a} = \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \text{terme convectif} = \vec{0}$
 $\vec{0}$ car RP

34. RP: trajectoire \equiv ldc. La pdf se déplace donc $\xi = z = \text{const} \Rightarrow v_x(z)$ est constante

le terme d'accélération convective est donc nul, ainsi que le terme local (RP)
 On peut aussi calculer: $(\vec{v} \cdot \text{grad}) \vec{v} = v_x \frac{\partial v_x(z)}{\partial z} \vec{e}_x = \vec{0}$

35 il vient en projetant sur ox : $\frac{\partial p}{\partial x} = \gamma \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2} \Rightarrow f(x) = g(z) = k'$ une constante.

36. $\frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2} = \frac{k'}{\gamma} \Rightarrow v_x(z) = \frac{k'}{2\gamma} z^2 + A z + B$

hyp. de Navier / Stokes: $v_x(h/2) = \frac{k'}{2\gamma} (h/2)^2 + A \frac{h}{2} + B = -\gamma \left(\frac{k' h}{2\gamma} + A \right)$

$v_x(-h/2) = \frac{k'}{2\gamma} (h/2)^2 - A \frac{h}{2} + B = +\gamma \left(-\frac{k' h}{2\gamma} + A \right)$

Soustrait: $A h = -2 \gamma A \Rightarrow A = 0$

et $B = -\gamma \frac{k' h}{2\gamma} - \frac{k' h^2}{8\gamma} \Rightarrow v_x(z) = -\frac{k' \gamma}{2\gamma} \frac{h}{2} + \frac{k'}{2\gamma} \left(z^2 - \frac{h^2}{4} \right)$

enfin il est précisé au début des quest que $\frac{\partial p}{\partial x} = -k$ (on retrouve le coefficient at)

$k' = -k \Rightarrow v_x(z) = k \gamma \frac{h}{2\gamma} + \frac{k}{2\gamma} \left(\frac{h^2}{4} - z^2 \right)$

37. $v_x = 0$ en z_0 / $z_0^2 = \frac{h^2}{4} + \gamma h \Rightarrow z_0 = \pm \sqrt{\gamma h + \frac{h^2}{4}} = \pm \frac{h}{2} \sqrt{1 + 4\gamma/h}$

$\gamma \ll h \Rightarrow \frac{\gamma}{h} \ll 1 \Rightarrow z_0 = \pm \frac{h}{2} (1 + 2\gamma/h) \Rightarrow |z_0| = \frac{h}{2} + \gamma \Rightarrow \gamma = |z_0| - \frac{h}{2}$

Q31. cf cours

Q32. $d\vec{f}_{visc} = d\vec{f}_1 + d\vec{f}_2$

pdf  $d\vec{f}_1 = \gamma \frac{\partial v_x}{\partial z} (\gamma dz) dS \vec{e}_x$
 $d\vec{f}_2 = -\gamma \frac{\partial v_x}{\partial z} (\gamma dz) dS \vec{e}_x$

avec $dS = dz dx$

$d\vec{f}_{visc} = \gamma dS \vec{e}_x \left(\frac{\partial v_x}{\partial z} (\gamma dz) - \frac{\partial v_x}{\partial z} (\gamma dz) \right)$
 $= \gamma \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2} \vec{e}_x \underbrace{dz dx dy}_{dV}$
 \vec{f}_{visc}

Le glissement a lieu car $h_0 > h_c$. Au lieu de s'annuler en h_c , le volume s'annule en $h_c + L_0$

$$38. D_v = \iint \vec{v} \cdot d\vec{S} = \rho \int_{-h/2}^{h/2} \left(k L_0 \frac{h}{2y} + \frac{k}{2y} \left(\frac{h^2}{4} - y^2 \right) \right) dy = k L_0 \frac{\rho}{2y} h^2 + \frac{\rho k}{8y} h^3 - \frac{\rho k}{2y} \left[\frac{y^3}{3} \right]_{-h/2}^{h/2}$$

$$D_v = \frac{k \rho h^2}{2y} \left(L_0 + \frac{h}{6} \right)$$

$$39. \frac{\partial E}{\partial x} = -k \Rightarrow P(0) - P(L) = kL \Rightarrow k = \frac{\Delta P}{L}$$

$$40. D_v = \frac{\Delta P}{L} \cdot \frac{\rho h^2}{2y} (L_0 + h/6) \Rightarrow R_h = \frac{2L_0 y}{\rho h^2 (L_0 + h/6)} \quad \left| \begin{array}{l} \text{cause} \\ \text{conséquence} \end{array} \right. \begin{array}{l} \Delta P = R_h D_v = R_h \iint_S \vec{v} \cdot d\vec{S} \\ \Delta V = R I = R \iint_S \vec{j} \cdot d\vec{S} \end{array}$$

donc le mm.

$$41. \text{ pour } L_0 = h/2 \text{ il vient : } \frac{R_h}{R_{h,0}} = \frac{1}{4} \quad \text{la résistance hydraulique est 4 fois moins dras}$$

↳ les pertes de charges ΔP est soit 4 fois moins dras

Centrale PSI 2021

Corrigé de la partie III.

III L'eau

35. 1^{er} B est 1 kg d'eau au cœur de l'évolut: étudiée

$$\Delta H = m C_{H_2O(l)} (T_{el} - T_c) + m \Delta_{\text{vap}} H^\circ + m C_{H_2O(g)} (T_f - T_{el})$$

On souhaite déterminer l'énergie E pour qu'une masse $m=1$ se vaporise

$$E = C_{H_2O(l)} (T_{el} - T_c) + \Delta_{\text{vap}} H^\circ + C_{H_2O(g)} (T_f - T_{el})$$
$$= 3907 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

36. $D_n = c D_r \Rightarrow \text{Puissance} = \frac{1}{3} D_n E = 11 \text{ MW / lance}$: il faut environ 136 lances
La quest' posée dans

37. 1 lance produit 167 kg par minute de vapeur d'eau ($\frac{1}{3}$ de 500)

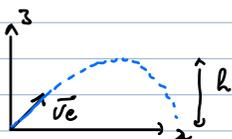
$$\text{soit } 9,3 \cdot 10^3 \text{ mol.min}^{-1} \quad (M_{H_2O} = 18 \text{ g.mol}^{-1})$$

$$\text{avec la loi de CL: } PV = nRT \Rightarrow V = 825 \text{ m}^3/\text{min}$$

↳ 800°C

III B. Lances & canon de

38.



Le mouvement de l'eau dans l'air est, très approximativement, une parabole (frottement/air \ll)

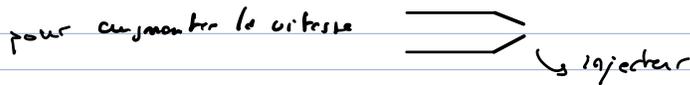
$$\text{Par conservation de } E_m, \text{ on a: } \frac{1}{2} m (v_{ex}^2 + v_{ez}^2) = mgh + \frac{1}{2} m v_{ex}^2$$

$$V_{0z} = \sqrt{2gh} \quad \text{je prends } h = 20 \text{ m} \quad \Rightarrow V_{0z} = 20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\alpha : \text{angle initial} \approx 45^\circ \Rightarrow v_{0x} = v_{0z} \Rightarrow v_e = \sqrt{2} v_{0z} = 2\sqrt{gh} = 28 \text{ m/s}$$

39. la vitesse dans le tuyau est $v = \frac{Q}{S} = \frac{Q}{\pi(d/2)^2} = 2.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (très inférieure à v_e)

Il y a 1 injecteur à la sortie de la lance



40. En appliquant le th. de Bernoulli entre la sortie de la pompe et l'extrémité de la lance (les hypothèses nécessaires sont vérifiées)

$$\text{il vient: } P_p + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g z_p = P_e + \frac{1}{2} \rho v_e^2 + \rho g z_e \Rightarrow \Delta P = \rho g (z_e - z_p) \approx 2.9 \text{ bar}$$

on se place juste avant l'éventuel injecteur

41. $Re \approx \rho \frac{d v}{\mu} = 1.5 \cdot 10^5 \rightarrow$ l'écoulement est turbulent

42. f est sans dimension $\Delta P_{lin} = \text{bar} \cdot \text{m}^{-1}$ et $\rho v^2 = \text{Evoluimique} = \text{pression}$

43. Je dirais non car ΔP et L (caution...)

44. $Re \approx 1.5 \cdot 10^5 \Rightarrow$ nous sommes dans le cadre de la lance de Q41.

Pour déterminer ε_d , la rugosité relative, il nous faut la valeur de f et il faut pour cela exploiter le tableau 2

formule de Darcy-Weisbach:
$$\Delta P = f \frac{\rho v^2}{2} \frac{L}{d} \Rightarrow \Delta P = f \frac{\rho v^2}{2} \frac{L}{d}$$

perde de charge linéique (à gauche) / perte de charge totale régulière (en prise) (à droite)

donc $\Delta P = f \frac{\rho v^2}{2} \frac{L}{d}$ est 1 droite de pente $f \times \rho \frac{v^2}{2d}$

$$D_e + R_e = \frac{\rho d v}{\mu} \Rightarrow v = \frac{Re \mu}{\rho d} \Rightarrow \rho \frac{v^2}{2} = \frac{Re^2}{\rho d^2} \times \frac{1}{2}$$

la pente vaut donc $f \frac{1}{2d\rho} \left(\frac{Re \mu}{d} \right)^2 \mid \begin{matrix} Re = 1.5 \cdot 10^5; \\ d = 70 \text{ mm}; \\ \mu = 10^{-3} \end{matrix}$

Débit 500 l/min, la pente vaut: $550 \text{ Pa} \cdot \text{m}^{-1} \rightarrow f = 1.7 \cdot 10^{-2}$

on trouve alors: $\frac{\varepsilon}{d} = 3.3 \cdot 10^{-4} \Rightarrow \varepsilon = 23 \mu\text{m} \Rightarrow$ tuyau peu rugueux

Rem: Nous avons modifié le sujet original qui proposait 5×10^5 pour Re en choisissant à 1 valeur du débit de 1500 l/min , en dehors des données du tableau: $1,5 \times 10^5$ est + logique, nous semble-t-il

45. Il faut rajouter la terme compensant la perte de charge régulière au terme calculé à Q_{40} .

pour 1 débit de 1500 l.min^{-1}

$$\Delta P = \underbrace{1,1}_{\text{perte de charge}} + \underbrace{2,9}_{\text{partie utile}} = 4 \text{ bar}$$

570×200

Il faut aussi tenir compte des pertes de charge singulières: raccordement, coudes, pompe...

46. Le M. de Bernoulli généralisé (cel avec parties mobiles et pertes de charge)

appliqué entre l'entrée de la pompe et la lance, s'écrit

$$\Delta z (\rho + \rho g) + \frac{1}{2} \rho v^2 = \frac{P_i}{Dv} - \Delta C_p$$

$$\Rightarrow P_i = Dv \left(\underbrace{\Delta C_p}_{1,1} + \underbrace{\rho e - \rho p}_5 + \underbrace{\rho g (z_e - z_p)}_{2,9} \right) = 7,9 \text{ kW}$$

47 Il suffit de multiplier ... $V = 1280 \text{ m}^3$

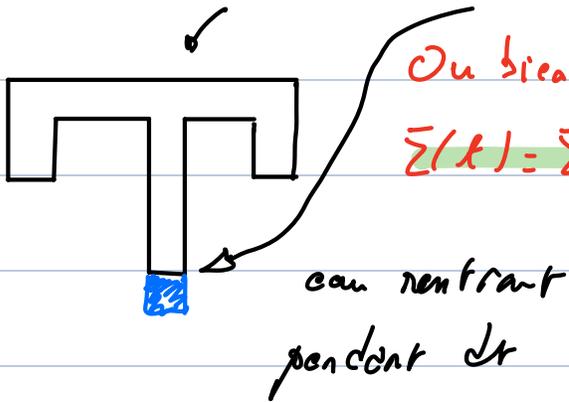
Fort Bayard

1. Plégesaf.

1.2. Q1. Le système proposé est ouvert (1 débit entrant, 2 débits sortants), on ne peut donc lui appliquer la seconde loi de Newton, relative à un système fermé

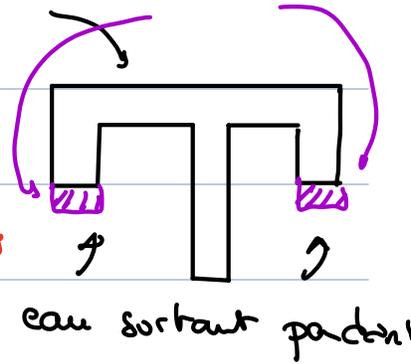
Q2. Elles sont indépendantes du temps (point de vue Eulerien en RS)

Q3. $\Sigma(t) = \Sigma^*(t) + \delta \Sigma_e$ $\Sigma(t+dt) = \Sigma^*(t+dt) + \delta \Sigma_s$



Ou bien: (formulation équivalente)

$\Sigma(t) = \Sigma^*(t)$ et $\Sigma(t) = \Sigma^*(t+dt) - dm_e + 2 dm_s$



Q4. $Dv = \frac{dV}{dt}$ dV étant le volume traversant la sect. étudiée par dt
 $= S_e v_e = 2 S_s v_s$

car l'eau est incompressible, $Dv = \text{const}$

Q5. Seconde loi de Newton à Σ par dt:

$$\frac{d\vec{p}}{dt} \hat{=} \frac{\vec{p}(t+dt) - \vec{p}(t)}{dt} = \left(\vec{p}^*(t+dt) + \delta \vec{p}_s - \vec{p}^*(t) - \delta \vec{p}_e \right) \frac{1}{dt}$$

$$= \frac{\delta \vec{p}_s - \delta \vec{p}_e}{dt} = \left[\frac{(dm_{s1} + dm_{s2}) \vec{v}_s - dm_e \vec{v}_e}{dt} \right] = \mu Dv (\vec{v}_s - \vec{v}_e)$$

(RS) ↗
 Le facteur 2 est caché ds v_s

aussi $\sum \vec{F}_{ext} = \underbrace{\vec{F}_{paroi/eau}}_{-\vec{F}} + \rho_{eau} \vec{g} + \rho_e S_e \vec{e}_j + 2 \rho_o S_s \vec{e}_j$

La sur O_j : $F = \mu Dv (v_e + v_s) - \rho_{eau} g + \rho_e S_e + 2 \rho_o S_s$

! à la proj. sur O_j de v_e en + et v_s en -

par ailleurs: $Dv = at \Rightarrow v_e S_e = 2 v_s S_s = Dv$

$$\begin{cases} v_e = Dv / S_e \\ v_s = Dv / 2 S_s \end{cases}$$

Il vient donc: $\mu Dv (v_s + v_e) = \mu Dv^2 \left(\frac{1}{2 S_s} + \frac{1}{S_e} \right)$

$$\alpha = \frac{S_e + 2 S_s}{2 S_e S_s} > 0 \quad \checkmark$$

6. hyp: écoulement parfait, incompressible (et homogène) en régime stationnaire

↳ le th. de Bernoulli est applicable, entre e et s par ex.

$$\frac{P_e}{\mu} + \frac{1}{2} v_e^2 + g z_e = \frac{P_o}{\mu} + \frac{v_s^2}{2} + g z_s$$

$$P_e = P_o + \frac{1}{2} \mu (v_s^2 - v_e^2) + g (z_s - z_e) \mu$$

$$\underbrace{\frac{Dv^2}{4 S_s^2} - \frac{Dv^2}{S_e^2}}_{\alpha} \quad \underbrace{H}_{H}$$

7. Au final: $F = P_o (2 S_s + S_e) + \mu g H S_e - \Pi_{eau} g + \mu Dv^2 \left[\alpha + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{4 S_s^2} - \frac{1}{S_e^2} \right) S_e \right]$

β

8. $\Pi_{eau} = \mu S_e H \Rightarrow F = P_o (2 S_s + S_e) + \mu \beta Dv^2$

9. Le système est fermé: $\underbrace{0}_{\text{équilibre}} = - \Pi g + F + \underbrace{F_{\text{pressi de l'air}}}_{F_{p/\text{air}}}$

↳ partout sauf sur les sect.

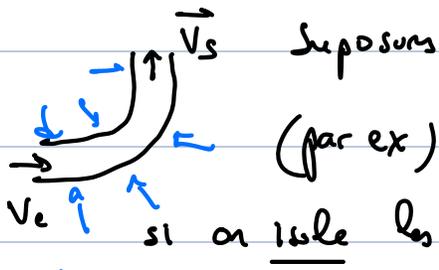
§ fictif: { candidat + flyboard } $F'_{p/\text{air}} = 0$ (P_o est uniforme)
entièrement entouré d'air

$$F'_{p/\text{air}} = F_{p/\text{air}} + P_o (2 S_s + S_e) \Rightarrow F_{p/\text{air}} = - P_o (2 S_s + S_e)$$

rem: J'ai fait 1 schéma sur 1 système + simple à la page suivante

Il vient: $\mu \beta Dv^2 = \Pi g \Rightarrow Dv = \sqrt{\frac{\Pi g}{\mu \beta}}$

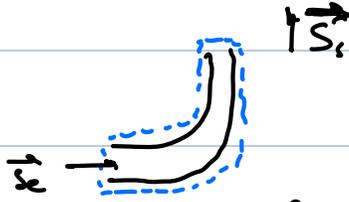
rem Supposons que le système soit 1 déflecteur de puskie



$$\vec{F}_{ext} = \vec{F}_{fluide / paroi} + \vec{F}_{pression air} + \vec{centrif}$$

se calcule comme
précédent

Système fictif: parois + 2 sect



$$\vec{F}_{pression, air, totale} = \vec{0} \quad (p_0 \text{ uniforme})$$
$$= \vec{F}_{press, air} + p_0 \vec{S}_e + p_0 \vec{S}_s$$

Q10. AN : $v_e \approx 7,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

$v_s \approx 12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$