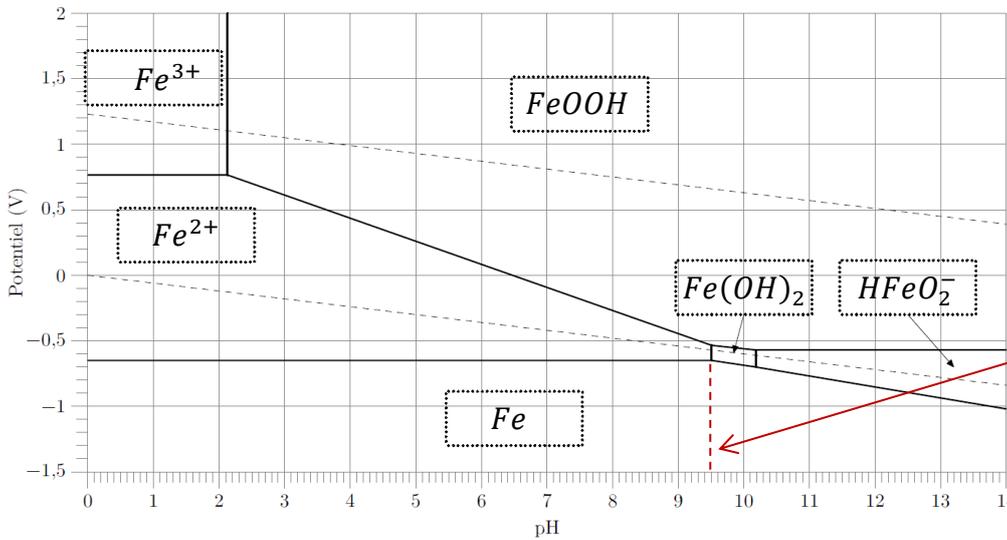


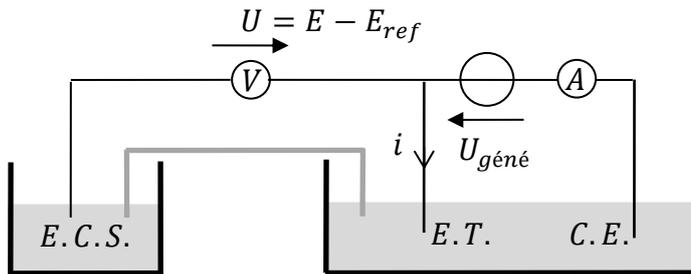
1-3) $E_{Fe^{2+}/Fe} = -0,65 V = E_{Fe^{2+}/Fe}^0 + 0,03 \log C_{tra} \rightarrow E_{Fe^{2+}/Fe}^0 = -0,47 V$ (c'est plutôt $-0,44 V$!?)
 $FeOOH + e^- + 3 H^+ \rightleftharpoons Fe^{2+} + 2 H_2O \rightarrow$ La pente vaut $-0,18 V \cdot pH^{-1}$



$$K_s = [Fe^{2+}][HO^-]^2 = C_{tra}(10^{-4,5})^2 = 10^{-15} \rightarrow pK_s = 15$$

4) En présence de dioxygène, le fer est corrodé en $FeOOH$: $4 Fe + 3 O_2 + 2 H_2O \rightarrow 4 FeOOH$

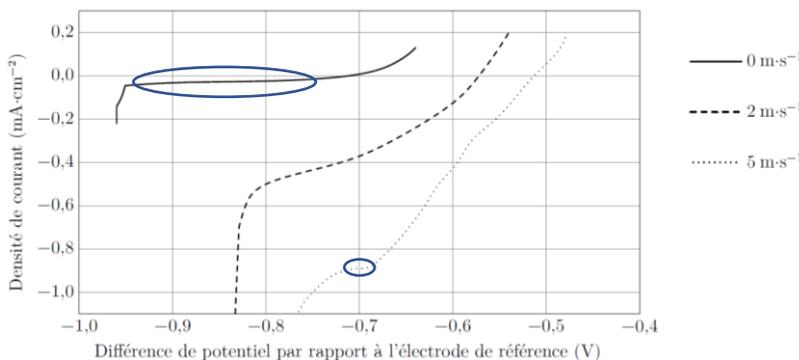
5) Un courant circule entre l'électrode de travail $E.T.$ en acier et la contre électrode $C.E.$ en platine grâce à un générateur. On relève les valeurs de i et U et on en déduit $E = U + 0,25 (V)$



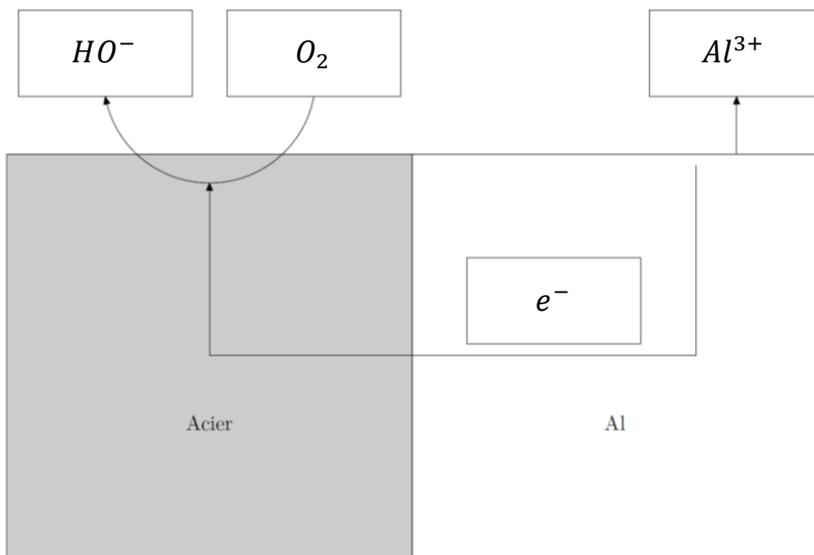
6) En (a), on observe la seule oxydation possible à $E < 0$, celle de l'acier ($Fe \rightleftharpoons Fe^{2+} + 2 e^-$)
 En (b), on reconnaît la réduction du dioxygène en milieu basique ($O_2 + 4 e^- + 2 H_2O \rightleftharpoons 4 HO^-$)
 En (c) se produit la réduction de l'eau en milieu basique ($2 H_2O + 2 e^- \rightleftharpoons H_2 + 2 HO^-$)

7) A $pH = 8,2$, le potentiel de Nernst du couple H^+/H_2 vaut environ $-0,5 V$. Or la d.d.p. entre le début de la réduction et E_{ref} est égale à $-0,95 V \rightarrow E_{red}^{début} = -0,7 V \rightarrow \eta_c^{i=0}(H^+/H_2) = -0,2 V$

8 & 9) L'augmentation de la vitesse permet un meilleur renouvellement du milieu réactif aux abords de l'électrode. La limitation du courant due à la consommation du dioxygène est moindre.



10-13) L'acier et l'aluminium étant équipotentiel ($\sim -0,74 V$) on en déduit $j_{corr} \sim 1,5 \cdot 10^{-5} A \cdot cm^{-2}$



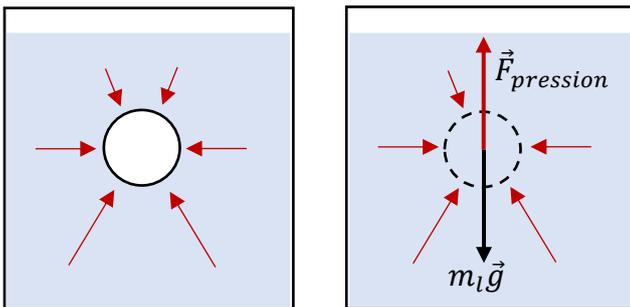
La charge mise en jeu est à la fois $j_{corr} S \Delta t$ et $3F n_{Al} = \frac{3F \rho_{Al} S \Delta e}{M_{Al}}$

$$\rightarrow \frac{\Delta e}{\Delta t} = \frac{j_{corr} M_{Al}}{3F \rho_{Al}}$$

En une année, $\Delta e = 0,16 mm$

La corrosion n'étant pas tout à fait uniforme, la densité de courant peut être plus importante en certains points. De plus, l'écoulement de l'eau autour des bouées augmente la vitesse de réaction : Par sécurité, la durée de vie est fixée à trois ans.

14) Rappel hors sujet sur le principe d'Archimède : La résultante des forces de pression subie par un corps immergé est la même que celle subie par le fluide déplacé. Or celui-ci serait à l'équilibre donc la poussée d'Archimède a pour norme le poids de fluide déplacé ($m_l g$).



Le solide subit son poids et la poussée d'Archimède. La projection de la résultante sur l'axe Oz vertical orienté vers le haut est donc $(\rho_l - \rho) V g$

Si $\rho_l > \rho$, le solide flotte. Si $\rho_l < \rho$, le solide coule.

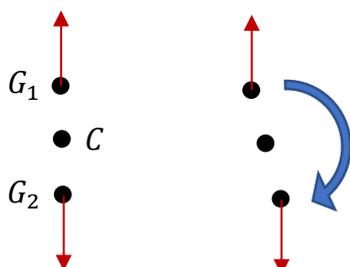
15) Dans \mathcal{R} , le fluide déplacé est à l'équilibre sous l'action de trois forces : Son poids, la force d'inertie d'entrainement et la poussée d'Archimède $\vec{F}_{pression}$: $\vec{F}_{pression} = -m_l \vec{g} + m_l \vec{a}_e = -m_l (\underbrace{\vec{g} - \vec{a}_e}_{\vec{g}_{apparent}})$

$$16) \vec{R} = ((\rho_1 - \rho_l) V_1 + (\rho_2 - \rho_l) V_2) \vec{g} \quad \vec{\Gamma}_c = (\rho_1 - \rho_l) V_1 \overrightarrow{CG_1} \wedge \vec{g} + (\rho_2 - \rho_l) V_2 \overrightarrow{CG_2} \wedge \vec{g}$$

$$17 \& 18) (\rho_1 - \rho_l) V_1 + (\rho_2 - \rho_l) V_2 = 0 \quad \rightarrow \quad \vec{\Gamma}_c = (\rho_2 - \rho_l) V_2 \overrightarrow{G_1 G_2} \wedge \vec{g}$$

19) Un dipôle électrostatique ($\vec{p} = q \overrightarrow{NP}$) plongé dans un champ électrique **uniforme** est une situation analogue à celle étudiée ici. La résultante est nulle et le moment a pour expression $\underbrace{q}_{M_m} \underbrace{\overrightarrow{NP}}_{\overrightarrow{G_1 G_2}} \wedge \underbrace{\vec{E}}_{\vec{g}}$

20 & 21) A l'équilibre stable, $M_m \overrightarrow{G_1 G_2}$ et \vec{g} sont **colinéaires de même sens** ($M_m > 0$ est rassurant).



Le déplacement de la vis permet **d'ajuster la position de G_2** sous G_1 de sorte que $\overrightarrow{G_1 G_2} \wedge \vec{g} = \vec{0}$ à l'équilibre.

22-24) On applique le T.M.C. à Σ_0 en O dans \mathcal{R}_T : $m_{eff} l^2 \ddot{\theta} = (\rho_l - \rho_0) V_0 g l \sin \theta \xrightarrow[\theta \ll 1]{\downarrow} \ddot{\theta} + \frac{(\rho_0 - \rho_l) V_0 g}{l m_{eff}} = 0$
 $\rightarrow l_{eff} = \frac{m_{eff}}{m_{app}} l = (100 + 20 * 99) l \sim 2,1 \cdot 10^3 l \rightarrow T_0 \sim 46 T_{0 \text{ vide}}$ ($T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{l_{eff}}{g}}$ et $T_{0 \text{ vide}} = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$)

En effet, un pendule de 400 m a pour période $T \sim 2\pi \sqrt{400} \sim 40$ s $l \sim \frac{400}{2,1 \cdot 10^3} \sim 19$ cm (Cohérent)

25 & 26) $\vec{F}_{pression} = -\rho_l V_0 (\vec{g} - \vec{a})$ $\vec{F}_{ie} = -\rho_0 V_0 \vec{a}$ On applique le T.M.C. à Σ_0 en O dans \mathcal{R}_S :

$$m_{eff} l^2 \ddot{\theta} = (\rho_l - \rho_0) V_0 g l \sin \theta + (\rho_0 - \rho_l) V_0 a(t) l \cos \theta - \beta l^2 \dot{\theta} \xrightarrow[\theta \ll 1]{\downarrow} \ddot{\theta} + \frac{\beta}{m_{eff}} \dot{\theta} + \omega_0^2 \theta = \frac{a(t)}{l_{eff}}$$

27 & 28) $\underline{\theta}_m = \frac{a_0/l_{eff}}{\omega_0^2 - \omega^2 + j\omega\omega_0/Q}$ $\rightarrow \underline{H} = \frac{1}{1 - (\omega/\omega_0)^2 + j\omega/(\omega_0 Q)}$ **Filtre passe-bas d'ordre 2**

29) L'équation serait $\ddot{\theta} + \frac{g}{l} \theta = \frac{a(t)}{l}$ $\rightarrow \underline{H}_1 = \frac{1}{1 - l\omega^2/g}$

30) $|\underline{H}| < |\underline{H}_1|$ \rightarrow La stabilisation permet de **diminuer l'inclinaison** et d'**éviter la résonance** qui existerait au voisinage de 1 Hz. A 0,03 Hz, l'atténuation vaut -20 dB $\rightarrow |\underline{H}| = \frac{1}{10}$ $\rightarrow |\underline{\theta}_m| = \frac{a_0}{10g} = 0,6^\circ$

31) Le filtre **C** convient car c'est un **passe-bas** d'ordre 2. Le filtre A (Pont de Wien) est un passe-bande ne laissant pas passer les basses fréquences et le B est un coupe-bande laissant passer les hautes fréquences.

32) Notant U' la tension aux bornes du premier condensateur, on a $U' = \frac{U/R + U_s/R}{2/R + jC\omega} = \frac{U + U_s}{2 + jRC\omega}$ (Millman)
 et $U_s = \frac{U'/jC\omega}{1/jC\omega + R} = \frac{U'}{1 + jRC\omega}$ (Diviseur de tension) On en déduit $\underline{H}_F = \frac{1}{1 + 3jRC\omega + (jRC\omega)^2}$

33) La pulsation de coupure étant voisine de $\frac{1}{RC} \left(\frac{1}{RC} \sqrt{\frac{-7 + \sqrt{53}}{2}} \right)$ exactement !
 on choisit $RC = 6 \cdot 10^{-2} \Omega \cdot F \leftarrow R = 60 \text{ k}\Omega$ et $C = 1 \mu F$ conviendraient.

34) On peut concevoir un filtre numérique passe-bas d'ordre 1 s'appuyant sur l'équation différentielle $\frac{dU_s}{dt} + \frac{U_s}{\tau} = \frac{U}{\tau}$ Ainsi, d'après la méthode d'Euler, $U_{s,k+1} = U_{s,k} + \frac{T_e}{\tau} (U_k - U_{s,k})$ avec $T_e = \frac{1}{f_e} = 98$ ms
 La suite consiste à écrire un code Python ou à utiliser un logiciel de calcul type *LATIS PRO*.

Afin d'obtenir un filtrage de qualité, il faudrait que $T_e \ll \tau \sim \frac{1}{2\pi} \sim 160$ ms car la fréquence de coupure du filtre doit être de l'ordre de 1 Hz : Ce n'est pas le cas, la fréquence d'échantillonnage semble trop faible ...

35) D'après le critère de Shannon-Nyquist, le spectre obtenu n'a de sens qu'entre **0** et **1,28 Hz**

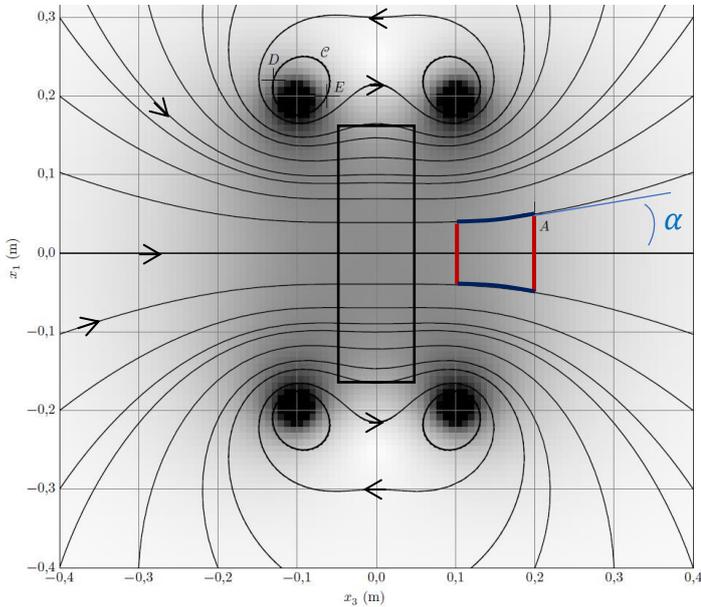
36 & 37) La distribution \mathcal{D} est **invariante par rotation** selon $\theta \rightarrow$ La norme de \vec{B} ne dépend pas de θ .

Le plan de la figure est un plan d'anti symétrie pour $\mathcal{D} \rightarrow \vec{B}(r, x_3) = B_r(r, x_3) \vec{u}_r + B_3(r, x_3) \vec{u}_3$

Tous les plans contenant l'axe (Ω, \vec{u}_3) sont des plans d'anti symétrie pour $\mathcal{D} \rightarrow \vec{B}(0, x_3) = B_{axe}(x_3) \vec{u}_3$

Le plan $(\Omega, \vec{u}_1, \vec{u}_2)$ est un plan de symétrie pour $\mathcal{D} \rightarrow \vec{B}(r, 0) = B(r, 0) \vec{u}_3$

La conservation du flux de \vec{B} le long d'un tube de champ a pour origine " $div \vec{B} = 0$ ". Sur la figure D, on remarque que la norme de \vec{B} **diminue** lorsque les lignes de champ **s'éloignent** les unes des autres.



Entre $x_3 = 10 \text{ cm}$ et $x_3 = 20 \text{ cm}$, le rayon du tube de champ dessiné ci-contre est passé de $4,0 \text{ cm}$ à $5,0 \text{ cm}$, alors que le champ magnétique (quasi uniforme sur chaque section) a évolué de $4,2 \mu\text{T}$ à $2,7 \mu\text{T}$.

On évalue ainsi $\Phi_{\vec{B}}(x_3 = 10 \text{ cm}) = 2,1 \cdot 10^{-8} \text{ Wb}$ et $\Phi_{\vec{B}}(x_3 = 20 \text{ cm}) = 2,1 \cdot 10^{-8} \text{ Wb}$

On constate bien la conservation du flux.

38) On applique le théorème d'Ampère le long de \mathcal{C} en négligeant la circulation de \vec{B} là où il est faible et en considérant sa norme B constante là où il est intense : $0,12B \sim \mu_0 N_1 i_1 \rightarrow B \sim 10 \mu\text{T}$

39) $B_3(A) \sim 2,7 \mu\text{T}$ $B_r(A) \sim 0,45 \mu\text{T}$ C'est cohérent avec l'inclinaison faible ($\alpha \sim \frac{0,45}{2,7} \sim 0,17 \text{ rad}$)

40) $\frac{1}{r} \frac{\partial(rB_r)}{\partial r} + \frac{\partial B_3}{\partial x_3} = 0$ Au voisinage de l'axe, $B_3(r, x_3) \sim B_{axe}(x_3)$ donc $\frac{\partial(rB_r)}{\partial r} \sim -r \frac{dB_{axe}}{dx_3}$
 $\rightarrow B_r(r, x_3) \sim -\frac{r}{2} \frac{dB_{axe}}{dx_3} + \frac{cste}{r}$ Or $B_r(0, x_3) = 0$ donc la constante est nulle $\rightarrow B_r(r, x_3) \sim -\frac{r}{2} \frac{dB_{axe}}{dx_3}$

41) En A, on évalue $\frac{dB_{axe}}{dx_3} \sim -\frac{5 \cdot 10^{-7}}{2,5 \cdot 10^{-2}} \sim -2 \cdot 10^{-5} \text{ T} \cdot \text{m}^{-1} \rightarrow B_r(A) \sim \frac{5 \cdot 10^{-2}}{2} * 2 \cdot 10^{-5} = 0,5 \mu\text{T}$ OK!

42 & 43) $\mu = 4,5 \mu\text{T} \cdot \text{A}^{-1}$ $4,05 \text{ T} < B_3(r_{max}, x_3 = 5 \text{ cm}) < 4,95 \text{ T} \rightarrow r_{max} \sim 17 \text{ cm}$

44 & 45) $M = \frac{\Phi_{1 \rightarrow 2}}{i_1} = -\mu N_1 N_2 \pi R_2^2 \sin \varphi$ $u_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt}$ $u_2 = L_2 \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_1}{dt}$

46 & 47) $i_2 = 0 \rightarrow M u_1 = L_1 u_2$ $|M| = 0,12 \text{ mH} \rightarrow \varphi = 20^\circ$