

1 - Le béton

a - Ciment : $n_{ci} = \frac{m_{ci}}{M_{ci}} = 1,0 \text{ mol}$

Eau : $n_{eau} = \frac{m_{eau}}{M_{eau}} = 5,0 \text{ mol}$

Vue des coef. stoechiométriques, c'est le ciment qui est le réactif limitant.

Hyp: réaction totale

a - l'état final : $n_{ci,f} = n_{ci} - 2\xi_f = 0 \rightarrow \xi_f = n_{ci}/2 = 0,5 \text{ mol}$

$n_{eau,f} = n_{eau} - 6\xi_f = 2 \text{ mol}$

$n(C_3S_2O_7; 3H_2O)_f = \xi_f = 0,5 \text{ mol}$

$n_{Ca(OH)_2,f} = 3\xi_f = 1,5 \text{ mol}$

- Hyp: on ne prend pas en compte la valeur en eau du calorimètre.

chemin thermodynamique :

① Réaction : $\Delta H_1 = \Delta_r H^\circ \cdot \xi_f$ (à la température T_r)

② Elevation de température :

• des produits : $\Delta H_{2,p} = \xi_f \left(C_m^\circ(C_3S_2O_7, H_2O) + 3C_m^\circ(Ca(OH)_2) \right) (T_f - T_r)$

• des réactifs : $\Delta H_{2,r} = \underbrace{(n_{eau} - 2\xi_f)}_{= 4\xi_f} C_m^\circ(H_2O) (T_f - T_r)$
en excès

1^{er} principe :

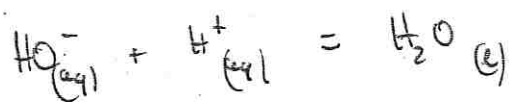
$\Delta H = Q + W_{autres} = 0 = \Delta H_1 + \Delta H_{2,p} + \Delta H_{2,r}$

$\Delta_r H^\circ = - \left(C_m^\circ(C_3S_2O_7, H_2O) + 3C_m^\circ(Ca(OH)_2) + 4C_m^\circ(H_2O) \right) \Delta\theta$

AN : $\Delta_r H^\circ = -13,2 \text{ kJ mol}^{-1}$

1.2. Base d'un belon

c. Titrage des ions hydroxydes (HO^-) par les ions H^+ :



par définition, on a $K^0 = \frac{1}{K_e} = 10^{14}$

d. la rupture de pente du suivi conductimétrique indique l'équivalence
 $\rightarrow V_{\text{eq}} = 1,0 \text{ mL}$.

à l'équivalence, on a : $[\text{HO}^-] \cdot V_0 = [\text{H}^+] \cdot V_{\text{eq}}$

$$[\text{HO}^-] = \frac{[\text{H}^+] V_{\text{eq}}}{V_0} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$$

$[\text{HO}^-]$ est la concentration au début de titrage (dose de la solution prélevée).

par définition : $K_e = [\text{HO}^-] [\text{H}_3\text{O}^+]$

$$\text{pH} = -\log([\text{H}_3\text{O}^+]) = \text{p}K_e + \log[\text{HO}^-]$$

AN : $\boxed{\text{pH} = 11,7}$

e. • par $0 \leq v \leq V_{\text{eq}}$.

H^+ introduit est immédiatement consommé puisque il réagit avec HO^- , la concentration de ce dernier diminue. Ainsi, pour 1 H^+ ajouté :

- 1 HO^- disparaît
- 1 Cl^- introduit de la solution

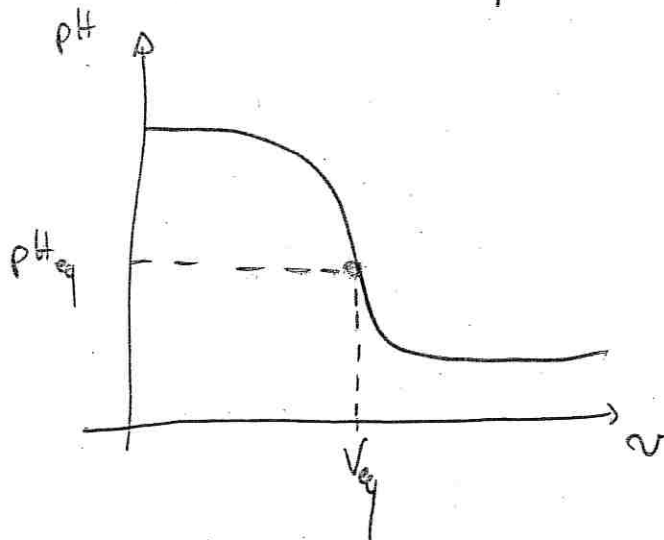
$$\text{or } \Lambda^0(\text{Cl}^-) < \Lambda^0(\text{HO}^-)$$

$\rightarrow \text{Cl}^-$ participe moins à la conductivité de la solution, donc $\sigma \downarrow$

• par $v \geq V_{\text{eq}}$

* tous les HO^- ont réagi. L'ajout d'acide chlorhydrique amène donc H^+ et Cl^- . Les espèces participant à la conductivité de la solution sont de $\ominus$ en $\oplus$ nombreuses : $\sigma \nearrow$

f - Avec un suivi pH-métrique on aura en l'allure:



A l'équivalence, $[H_3O^+]_{equiv} = [H^+]_{equiv}$
 $\Rightarrow \boxed{pH_{eq} = 7}$

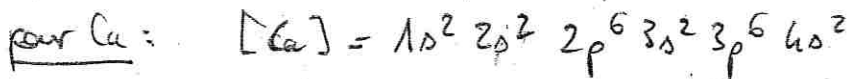
1.3. Carbonatation du béton

nb quantités primaires nb quantités secondaires.

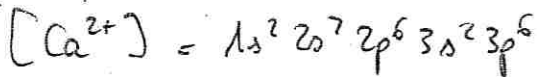
g - Règles de remplissage des couches électroniques

• Klechkowski : les couches sont remplies par $n + l$ croissant
 si $n + l$ identique, remplissage avec n croissant.

• Pauli : ds ce atome, 2 e^- ne peuvent pas avoir les 4 nb quantités identiques. on pose donc sur une orbitale au plus 2 e^- avec leurs spins opposés.



$Z = 20$ en perdant 2 e^- :



Configuration identique au gaz noble Ar avec toutes les sous-couches complètement remplies.

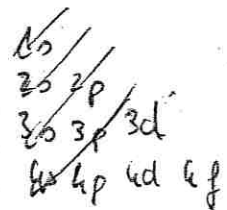
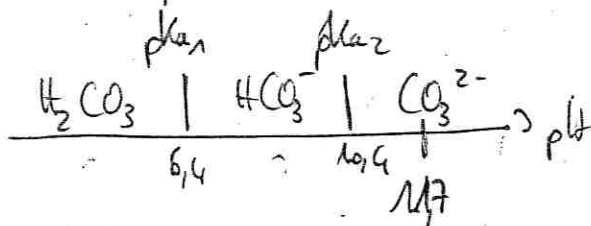
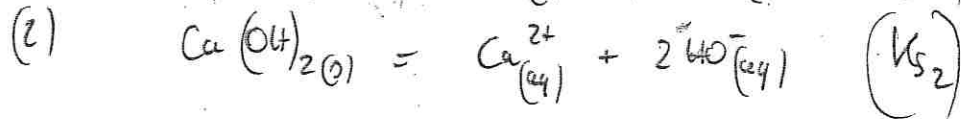
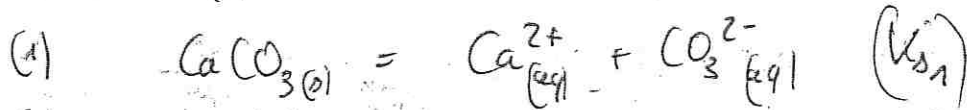
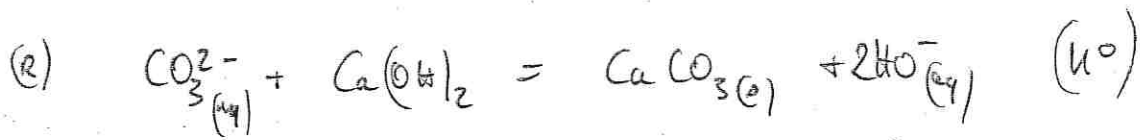


diagramme de prédominance:



à la question d, on a vu que : $pH = 11,7 \rightarrow$ on se trouve bien ds le domaine de prédominance de CO_3^{2-} (Carbonate)

i - Réaction de carbonatation (à interpréter à partir de l'équation)



$$(R) = (2) - (1)$$

$$\Delta_r G^\circ(R) = \Delta_r G^\circ(2) - \Delta_r G^\circ(1)$$

$$-RT \ln(K^0) = -RT \ln(K_{s2}) + RT \ln(K_{s1})$$

$$K^0 = \frac{K_{s2}}{K_{s1}} \quad \text{AN: } K^0 = \frac{5 \cdot 10^{-6}}{3 \cdot 10^{-3}} \approx 1,7 \cdot 10^{-3}$$

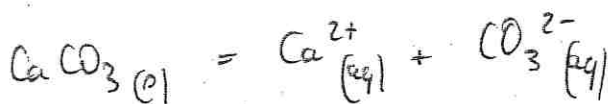
→ la formation de $\text{CaCO}_3(s)$ et $\text{H}_2\text{O}(\text{aq})$ est thermodynamiquement favorisée.

j - Effet de température → Van't Hoff.

Hyp: Ellingham

ds le cas $\Delta_r H^\circ$: $\frac{d \ln(K^0)}{dT} = \frac{\Delta_r H^\circ}{RT^2} \xrightarrow{\text{Ellingham}} \ln(K^0) = -\frac{\Delta_r H^\circ}{R} \cdot \frac{1}{T} + K.$

du carbonate (1):



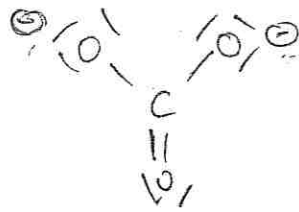
$$\Delta_r H^\circ = \sum_i \nu_i \Delta_f H^\circ_i = -13 \text{ kJ.mol}^{-1} \rightarrow \text{réaction exothermique}$$

Van't Hoff: "Une élévation de T entraîne un déplacement de l'équilibre ds le sens endothermique de la réaction"

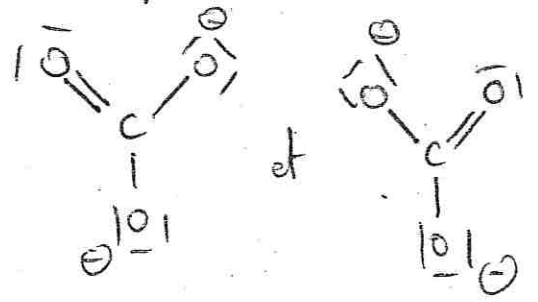
ici: sens indirect.

• Ainsi, si $T \downarrow$, déplacement ds le sens direct: Calcaire plus soluble à froid

k- Schéma de Lewis de CO_3^{2-}



formules mésomères
équiprobables



→ par symétrie, CO_3^{2-} ne présente
pas de moment dipolaire permanent.

l- Volume d'un mole de calcite: V_m

$$V_m = N_A \cdot v$$

$\uparrow$ volume formulaire
 $\uparrow$ constante d'Avogadro

masse volumique

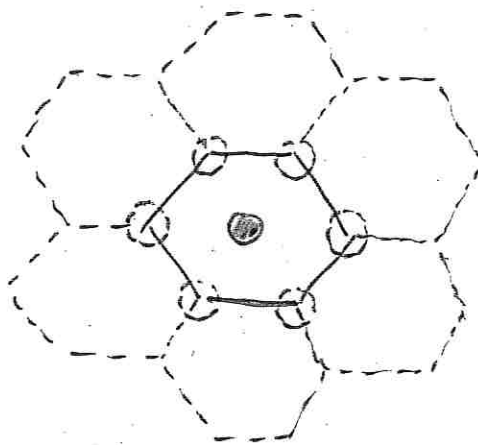
or $\rho(\text{CaCO}_3) = \rho \cdot V_m$

$$\rightarrow v = \frac{\rho(\text{CaCO}_3)}{\rho \cdot N_A}$$

AN: $v \approx 6,2 \cdot 10^{-29} \text{ m}^3$

m- Portlandite

Vue de dessus



- les atomes en pointillés sont
impliqués ds $3 \times 2 = 6$ mailles
voisines, il y en a 12 de ce type
- les atomes pleins sont impliqués
ds $1 \times 2 = 2$ mailles
il y en a 2 de ce type

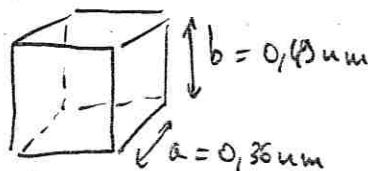
→ Nb d'atome ds la maille:

$$\frac{12}{6} + \frac{2}{2} = 3 \text{ atomes}$$

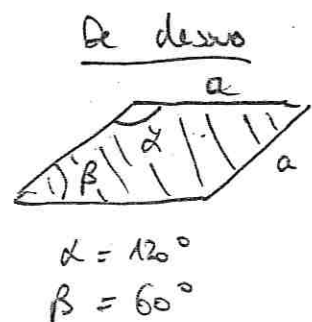
⇒ la maille représentée est donc
par la stoichiométrie: $3\text{Ca}(\text{OH})_2$

Soit N_3 le volume associé

$$N_3 = 3 v \text{ avec } v \hat{=}$$



avec l'achure: $f = a \times a \sin(\beta)$
 $= a^2 \frac{\sqrt{3}}{2}$

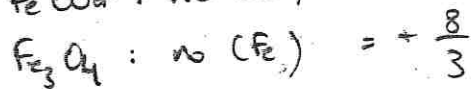
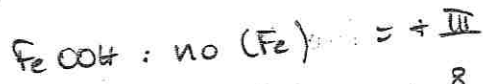
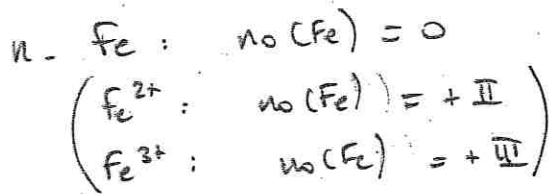


$$V = \sin(\beta) \cdot a^2 \cdot b = 5,5 \cdot 10^{-29} \text{ m}^3 \quad (\text{volume d'une unité de formule})$$

du remarque que $V_{\text{calcité}} > V_{\text{phtérite}}$

→ le béton "gonfle" au cours de cette transformation

1.4 - Corrosion d'un béton armé



$R_y : 2 < \frac{8}{3} < 3$

→ certains Fe ont $n_o = +\text{II}$ (Fe^{2+}) et les autres ont $n_o = +\text{III}$ (Fe^{3+})

0. $E \uparrow$

$\uparrow n_o$ croissant

$\Rightarrow$

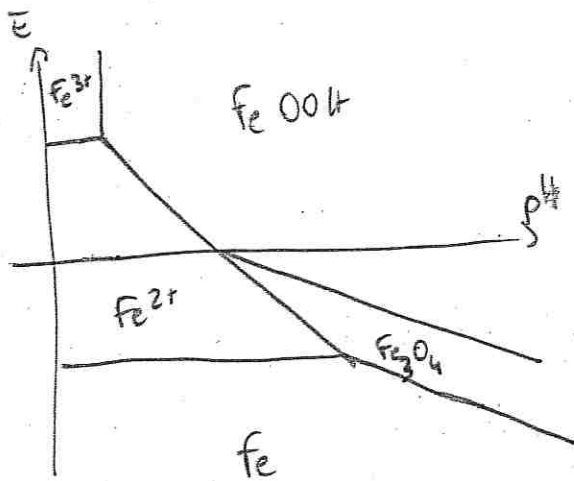
A : Fe

B : Fe^{2+} (frontière AB horizontale, indep. du pH)

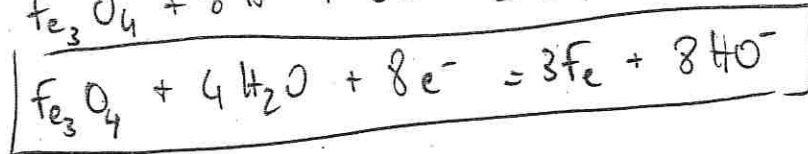
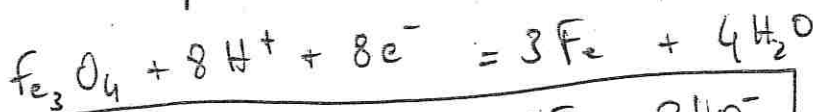
D : Fe^{3+} (frontière BD horizontale, indep. du pH)

E : FeOOH (no identique à Fe^{3+} , frontière DE verticale car $\Delta n_o = 0$)

C : Fe_3O_4 par élimination

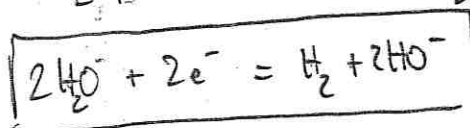
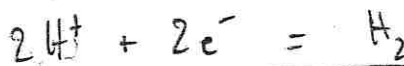


p. • au milieu basique : couple $\text{Fe}_3\text{O}_4 / \text{Fe}$

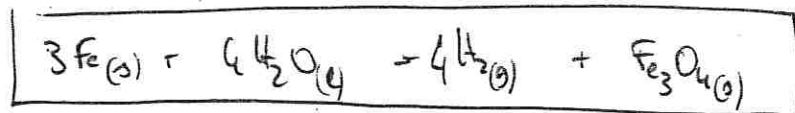
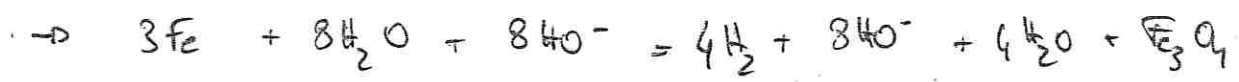


$\downarrow + 8\text{HO}^-$

• couple : H^+ / H_2

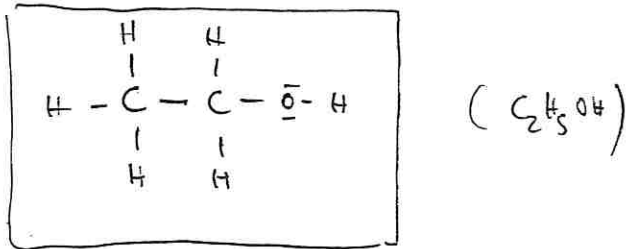


$\downarrow + 2\text{HO}^-$



Bioéthanol

1. Nomenclature : "éthanol" $\rightarrow$ 2 carbones
"ol" $\rightarrow$ alcool : $-OH$.



$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ et H_2O sont miscibles car ce sont des molécules polaire
 $\rightarrow$ interactions dipôle - dipôle (permanent)

par contre, les hydrocarbures sont apolaire, donc non miscibles à l'éthanol.



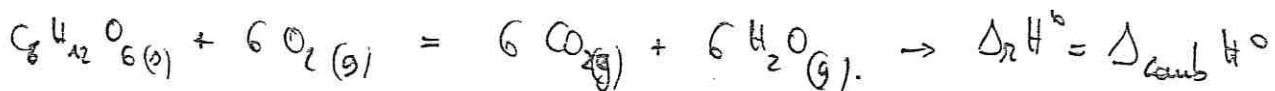
Rq : "anaérobie" : pas de O_2

3. loi de Hess:

$$\begin{aligned} \Delta_r H^\circ_{(1)} &= \sum_i \nu_i \Delta_f H^\circ_i \\ &= 2 \Delta_f H^\circ(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) + 2 \Delta_f H^\circ(\text{CO}_2) - \Delta_f H^\circ(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) \end{aligned}$$

?

au regard la combustion du glucose



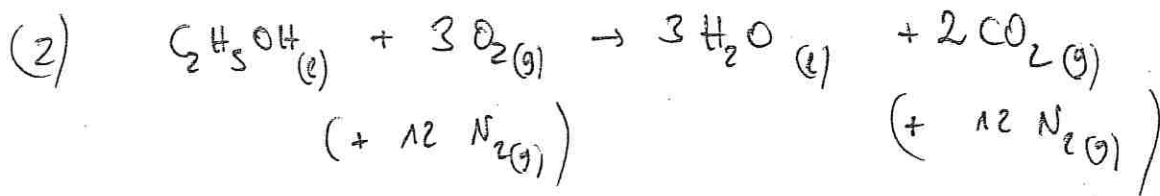
$$\Delta_{\text{comb}} H^\circ = 6(\Delta_f H^\circ(\text{CO}_2) + \Delta_f H^\circ(\text{H}_2\text{O}) - \Delta_f H^\circ(\text{O}_2)) - \Delta_f H^\circ(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)$$

$$\rightarrow \Delta_f H^\circ(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 6(\dots + \dots - \dots) - \Delta_{\text{comb}} H^\circ$$

AN : $\Delta_f H^\circ(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = -1000 \text{ kJ mol}^{-1}$

$$\Delta_r H^\circ_{(1)} = -342 \text{ kJ mol}^{-1} < 0 \rightarrow \text{Réaction exothermique}$$

4. (2) dr une réaction de combustion gaz à effet de serre



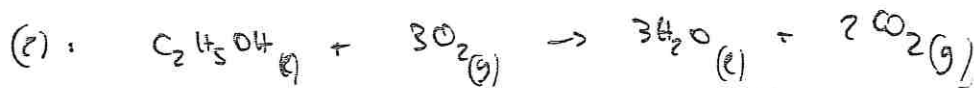
bioéthanol est propre car récupéré à partir de la biomasse
(on peut imaginer que sa transformation est moins coûteuse
énergétique que le raffinement du pétrole)

5. Calorimétrie à P = cste, sans tenir compte du calorimètre.

1er principe: $\Delta H = \underbrace{Q}_{=0} + \underbrace{W_p}_{=0} = 0$
(calorimétrie)

1^{er} état d'état: $\Delta H = \Delta H_{\text{combustion}} + \Delta H_{\text{chauffage}}$

• $\Delta H_{\text{combustion}} = \sum_f \cdot \Delta_r H^\circ_2$



n_0

$n_0 - \xi_f \approx 0$

$\xi_f = n_0 = \frac{m_{\text{eth}}}{M_{\text{eth}}}$

$\rightarrow \xi_f \approx 6,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$

$3\xi_f$



Quantité d'eau produite

$m_{\text{H}_2\text{O},p} = n_{\text{H}_2\text{O},p} \cdot M_{\text{H}_2\text{O}}$

$= 3\xi_f \cdot M_{\text{H}_2\text{O}} \approx 3,5 \text{ g}$

Cl: le calorimètre contenant déjà
l'eau avant réaction.

• $\Delta H_{\text{chauffage}}$? Hyp: O_2 en q^{thé} stoechiométrique $\rightarrow n_{O_2} = 3 \xi_f$ (3)

$\rightarrow$ et faut chauffer :

- $N_2(g) \rightarrow n_{N_2} = 4 n_{O_2} = 12 \xi_f$
- $H_2O(l)$ et $CO_2(g)$ + celle déjà présente.
- produit

$$\Delta H_{\text{chauffage}} = 12 \xi_f \cdot C_{pm}(N_2)(T_f - T_i) + 2 \xi_f C_{pm}(CO_2)(T_f - T_i) + \left(3 \xi_f + \frac{n_{H_2O}}{n_{H_2O}} \right) C_{pm}(H_2O)(T_f - T_i)$$

AN : $\Delta H_{\text{chauffage}} \approx 84,2 \text{ kJ}$

Enfin : $\Delta H_{\text{combustion}} + \Delta H_{\text{chauffage}} = 0 = \xi_f \Delta_r H_c^\circ + \Delta H_{\text{chauffage}}$

$$\left(\Delta_r H_c^\circ = - \frac{\Delta H_{\text{chauffage}}}{\xi_f} \Rightarrow \text{AN} : \Delta_r H_c^\circ \approx -1291 \text{ kJ mol}^{-1} \right)$$

6. on vérifie la valeur trouvée en 5 avec la loi de Hess

$$\Delta_r H_c^\circ = 3 \Delta_f H^\circ(H_2O(l)) + 2 \Delta_f H^\circ(CO_2) - \Delta_f H^\circ(C_2H_5OH(l))$$

AN : $\Delta_r H_c^\circ = -1369 \text{ kJ mol}^{-1}$

$e \approx 6\%$ $\rightarrow$ Acceptable qd on connaît les difficultés des manip. de calorimétrie.

• Nb d'oxydation :

$\Gamma_{Mn} : 0$

$\Gamma_{MnO_2} : +IV$

$\Gamma_{Mn(OH)_2} : +II$

$\Gamma_{Mn^{2+}} : +II$

$\Gamma_{MnO_4^-} : +VII$

$\Gamma_{MnO_4^{2-}} : +VI$

on a donc :

① $\rightarrow \Gamma_{MnO_4^-}$

② $\rightarrow \Gamma_{MnO_4^{2-}}$

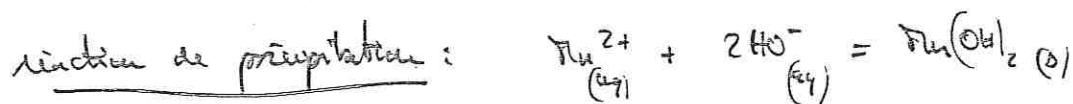
③ $\rightarrow \Gamma_{MnO_2}$

④ $\rightarrow \Gamma_{Mn^{2+}}$

⑤ $\rightarrow \Gamma_{Mn(OH)_2}$

⑥ $\rightarrow \Gamma_{Mn}$

8. fraction 4/5 : $Mn^{2+} / Mn(OH)_2$



$$K^o = \frac{1}{K_s} \quad \text{avec} \quad K_s = \frac{[Mn^{2+}] \cdot (OH^{-})^2}{C^o^3} = \frac{[Mn^{2+}] K_e^2 \cdot C^o}{(H_3O^{+})^2}$$

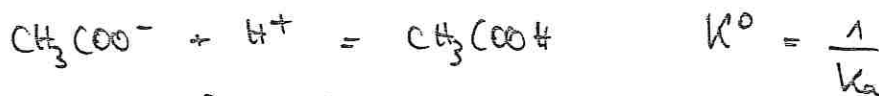
la fraction correspond à la limite d'apparition du précipité

donc $[Mn^{2+}] \approx C = 10^{-2} \text{ mol/L}$.

$$\rightarrow (H_3O^{+}) = C^o \sqrt{\frac{C \cdot K_e^2}{K_s C^o}}$$

$$pH = -\log (H_3O^{+}) \approx 8,7$$

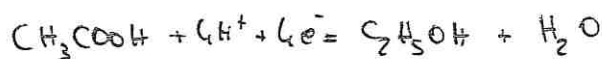
9. fraction CH_3COOH / CH_3COO^{-} $\rightarrow$ réaction acide-base



$$K_a = \frac{[H^{+}] \cdot [CH_3COO^{-}]}{[CH_3COOH] C^o} \rightarrow pH = -\log(K_a) = pK_a = 4,8$$

à la fraction : $[CH_3COO^{-}] \approx [CH_3COOH]$

• fraction CH_3COOH / C_2H_5OH



$$\bar{E} = \bar{E}^o + \frac{0,06}{4} \log \left(\frac{[CH_3COOH] \cdot (H^{+})^4}{[C_2H_5OH] C^o^4} \right)$$

à la fraction : $[CH_3COOH] = [C_2H_5OH]$

$$\boxed{\bar{E} = \bar{E}^o - 0,06 pH} \quad (\bar{E} = 0,037 - 0,06 pH)$$

10. couple MnO_2 / Mn^{2+} : $MnO_2 + 4H^{+} + 2e^{-} = Mn^{2+} + 2H_2O$

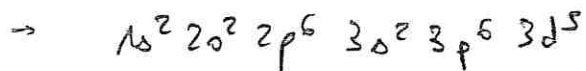
$$\begin{aligned} \bar{E} &= \bar{E}^o_{MnO_2/Mn^{2+}} + 0,03 \log \left(\frac{[H^{+}]^4}{[Mn^{2+}] C^o^3} \right) \\ &= \bar{E}^o - 0,03 \log \left(\frac{[Mn^{2+}]}{C^o} \right) = 0,12 pH \end{aligned}$$

sur la fraction et à $pH = 0$, on a $\bar{E} = \bar{E}^o_{MnO_2/Mn^{2+}} - 0,03 \log \left(\frac{C}{C^o} \right)$

$$\rightarrow \bar{E}_{\text{fraction}, pH=0} \approx 1,3 \text{ V} \rightarrow \boxed{\bar{E}^o_{MnO_2/Mn^{2+}} \approx 1,26 \text{ V}}$$

$$11. \quad Z(\text{Th}) = 25$$

donc Th^{2+} possède 23 électrons.



justif : • Pauli (2 e^- par case quantique max : 4 cas quantiques identiques impossibles).

• Klechkowski : remplissage des orbitales par énergie $\nearrow$
($n+l \nearrow$ ou $n \nearrow$ si $n+l$ identique)

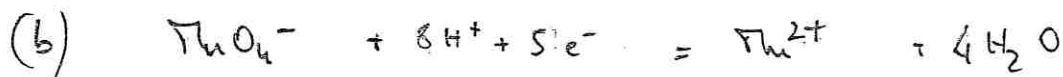
• Hund : pr des orbitales de m même énergie, remplissage avec spins //, puis apparemment spins anti-//.

12. Dilution de $S_1 \rightarrow S_2$

- Pipetter (pipette jaugée de 5 mL) 5 mL de S_1 que l'on met dans une fiole jaugée de 50 mL.
- Remplir partiellement (jusqu'au bas du col de la fiole) la fiole jaugée d'eau distillée, puis agiter la fiole en y mettant un bouchon.
- Compléter jusqu'au trait de jauge et agiter à nouveau.

Rq : le matériel doit être rincé à l'eau distillée avant les manipulations.

3. Oxydation Eth-OH :

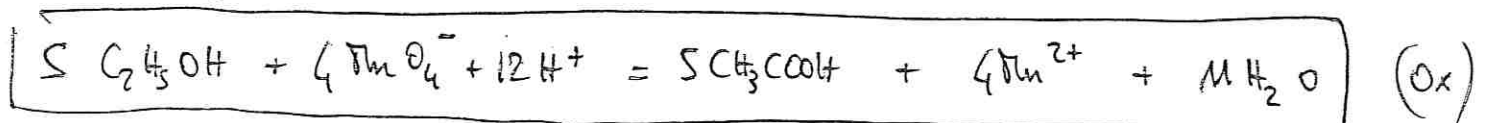


Rq : pr connaître le réducteur produit par ThO_4^- , se référer au diag. E-pH

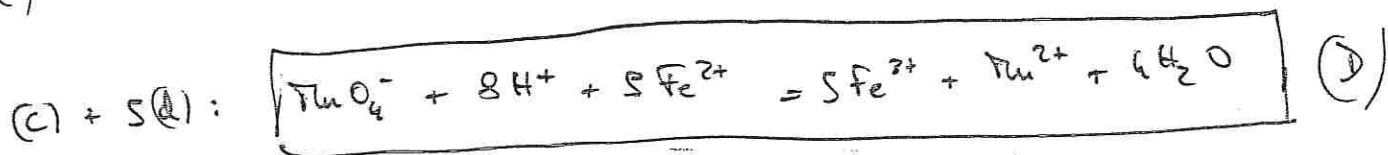
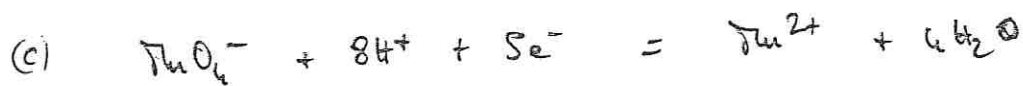


de la domaine de (4) = Th^{2+}

5 x (a) + 4 x (b) :



14 - dosage de MnO_4^- par Fe^{2+} .
 oxydant réducteur oxydt en Fe^{3+}



R: MnO_2 produit parasite dissout par Fe^{2+}
 ↳ ne doit pas apparaître de l'équation bilan.

15 - le 3^e étape d'oxydation de éth-ol et diète c lente
 (~ 30 min en présence de chauffage)
 or une réaction de dosage doit être rapide

16 - Réaction de dosage (D):

$$\text{à l'équivalence: } \frac{n_{\text{MnO}_4^-, \text{ex}}}{1} = \frac{n_{\text{Fe}^{2+}}}{5} = \frac{C_4 \cdot V_E}{5}$$

$$n_{\text{MnO}_4^-, \text{ex}} = \frac{1}{5} C_4 \cdot V_E \quad \hat{=} \quad \text{MnO}_4^- \text{ en excès après la réaction (ox)}$$

Quantité de MnO_4^- consommée pdt (ox)

$$n_{\text{MnO}_4^-, 0} = 4 \xi_f = n_{\text{MnO}_4^-, \text{ex}} \rightarrow \xi_f = \frac{1}{4} (n_{\text{MnO}_4^-, 0} - n_{\text{MnO}_4^-, \text{ex}})$$

↑
introduit initialement.

si MnO_4^- est en excès de la réaction (ox) c'est que $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ est limitant $\Rightarrow n_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}, 0} - 5 \xi_f = 0 \rightarrow n_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}, 0} = 5 \xi_f$

$$\boxed{n_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}, 0} = \frac{5}{4} (n_{\text{MnO}_4^-, 0} - n_{\text{MnO}_4^-, \text{ex}})}$$

$$\boxed{n_2 = \frac{5}{4} \left(C_3 V_3 - \frac{1}{5} C_4 V_E \right)}$$

$$\underline{\text{AN}}: n_2 = 7,5 \text{ mol}$$

$$\text{et } C_2 = \frac{n_2}{V_2} \text{ puis } C_1 = 10 C_2 = 10 \frac{n_2}{V_2} \quad \underline{\text{AN}}: \boxed{C_1 \approx 3,8 \text{ mol/L}}$$

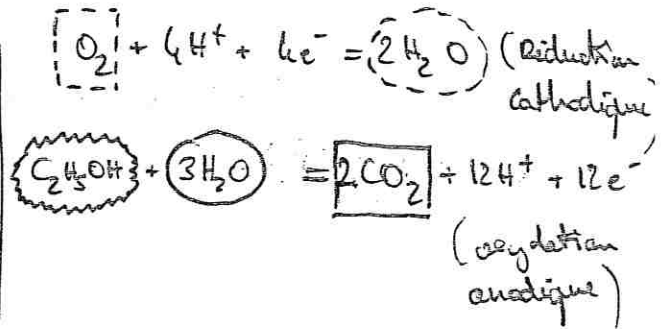
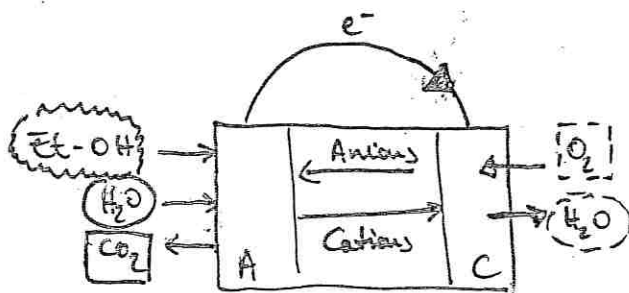
17. l'ajout de H_2SO_4 permet de se placer en milieu acide
 On a sous la forme $Th^{2+}_{(aq)}$, il serait sous forme
 précipité en milieu basique ($Th(OH)_2(s)$)

pourrait éventuellement par pb pour le
 titrage qui suit l'oxydation

du voir sur le diag. $E-pH$ que les domaines de prédominance
 de ThO_4^- et $Et-OH$ sont disjoints $\rightarrow$ la réaction est thermodynamiquement
 favorisée.

18. Équation bilan pour la pile (= "combustion")

$$C_2H_5OH_{(l)} + 3 O_{2(g)} = 2 CO_{2(g)} + 3 H_2O_{(l)}$$



19. Avantages de l'éthanol:

- peu toxique
- énergie renouvelable⁴ (extraite de la biomasse)
- procédé de fabrication facile
- existe sous forme liquide aux conditions (P,T) usuelles
 (contrairement à H_2 de la pile à combustible par ex)

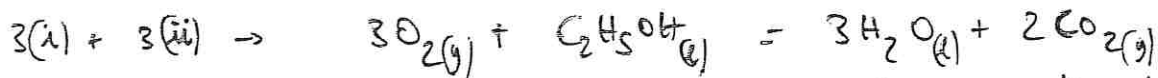
Inconvénients:

- ? $\rightarrow$ en me renseignant, j'ai trouvé que les réactions
 de la pile devraient être catalysées par du platine
 $\hookrightarrow$ cher
 $\hookrightarrow$ extraction de Pt polluante

20. $1/2$ réactions $\rightarrow$ cf qst 18

21. fem standard $\rightarrow e^\circ = 1.5^\circ$ on ne connaît pas les E° : X

$$e = - \frac{\Delta_r G}{nF} \Rightarrow e^\circ = - \frac{\Delta_r G^\circ}{nF}$$



$\hookrightarrow$ 12 e échangés ds la réaction de la pile avec cette stoechiométrie.

$n = 12$

$\Delta_r G^\circ = \Delta_r H^\circ - T \Delta_r S^\circ$

Hess: $\Delta_r H^\circ = 2\Delta_f H^\circ(CO_2) + 3\Delta_f H^\circ(H_2O) - \Delta_f H^\circ(C_2H_5OH)$
 $= -1369 \text{ kJ/mol}$

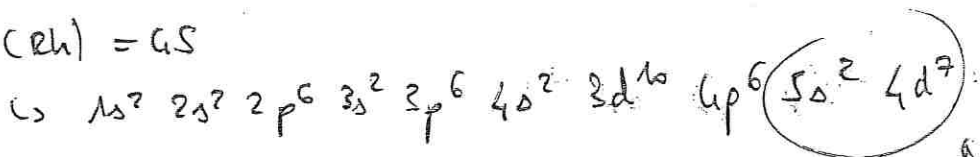
$\Delta_r S^\circ = 2S_m^\circ(CO_2) + 3S_m^\circ(H_2O) - S_m^\circ(C_2H_5OH) - 3S_m^\circ(O_2)$
 $= -138 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

$\rightarrow \Delta_r G^\circ = -132,8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

$e^\circ = 1,2 \text{ V}$

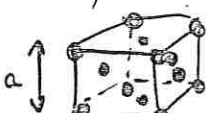
(difficile sans calculatrice)

22. $Z(Rh) = 45$



3 e de valence.

$\Rightarrow$ 5^e ligne, 9^e colonne
 (n=5)

23. cfc:  $\rightarrow 8 \times \frac{1}{8} + 6 \times \frac{1}{2} = 4$ atomes par maille.

Contact selon la diagonale d'une face: $4 \cdot r(Rh) = a\sqrt{2} \rightarrow \boxed{a = \frac{4}{\sqrt{2}} r}$

Mass volumique: $\rho = \frac{4 \times m(Rh)}{a^3} = \frac{2^2 \cdot \frac{V(Rh)}{N_A}}{\frac{2^6}{2\sqrt{2}} \cdot r^3}$

$r = \left(\frac{\sqrt{2}}{8} \frac{V(Rh)}{N_A \cdot \rho} \right)^{1/3}$

AN: $r = 1,3 \cdot 10^{-10} \text{ m}$

Etude d'un transducteur électrodynamique (Plines Pouto 2018)

I - Calcul du champ magnétique de l'entrefer

1. Par un milieu quelconque (non nécessairement linéaire), on a :

$$\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{\Pi})$$

Unités : $\vec{B}$ en T (Telsa)

$\vec{H}$ et $\vec{\Pi}$ en $A m^{-1}$

- Un milieu magnétique est linéaire si : $\vec{\Pi} = \chi_m \vec{H}$ avec χ_m un scalaire, appelé susceptibilité magnétique.

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} + \mu_0 \chi_m \vec{H} = \mu_0 (1 + \chi_m) \vec{H} = \mu_0 \mu_r \vec{H}$$

$$\boxed{\mu_r = 1 + \chi_m} \quad \text{sans unité}$$

$\|\vec{B}\|$ ne peut pas diverger : $\|\vec{B}\|$ est finie

donc si $\mu_r \rightarrow +\infty$ alors $\boxed{\|\vec{H}\| \rightarrow 0}$

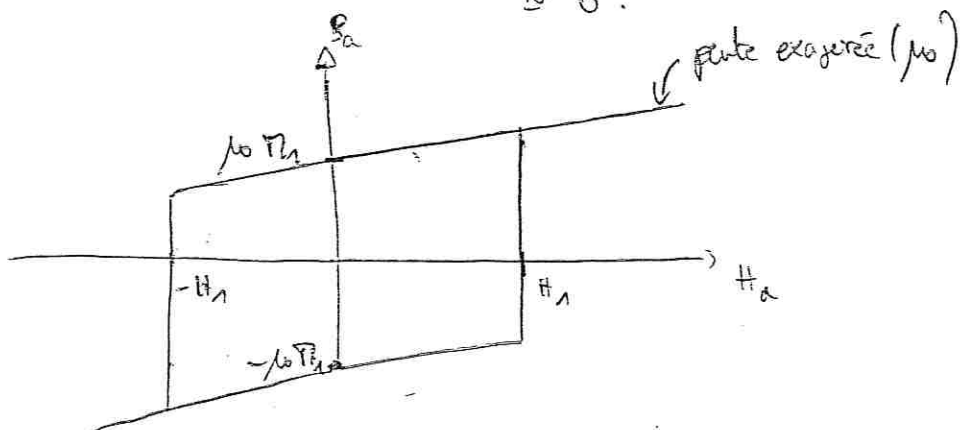
Π_r est l'aimantation rémanente : $\Pi_r = |\Pi_a(H_a = 0)|$

H_n est l'excitation coercitive : $\Pi_a(H_a = \pm H_n) = 0$

par tracer un cycle d'hystérésis, il faut sortir du domaine de linéarité du matériau
on obtient donc $B_a = \mu_0 (H_a + \Pi_a)$

• si $\Pi_a = \Pi_r = cte$ alors $B_a = \mu_0 H_a + \mu_0 \Pi_r$: $B_a = f(H_a)$ est une droite de pente μ_0 et d'ordonnée à l'origine $\mu_0 \Pi_r$

• si $H_a = H_n$, $\Pi_a = 0 \rightarrow B_a(H_n) = \mu_0 H_n$ (très petit) ≈ 0 .



Ainsi : $B_a (H_a = 0) = \pm \mu_0 \Pi_1$: c'est le champ magnétique rémanent

par $\Pi_a = -\Pi_1$ (rémanence négative) :
$$B_a = \mu_0 (H_a - \Pi_1) \quad (1)$$

par définition, un cycle d'hystérésis traduit des phénomènes non linéaires, on ne définit donc pas de perméabilité relative (il n'y a pas question de l'existence d'une courbe de l'axe d'aimantation).

4. • les lignes de champs sont orthogonales à : l'interface ferromagnétique / air.

Relations de passage :

- Composante normale de $\vec{B}$ continue à l'interface : ✓
- ——— tangentielle ——— discontinue si $\sigma_{surf} \neq 0$

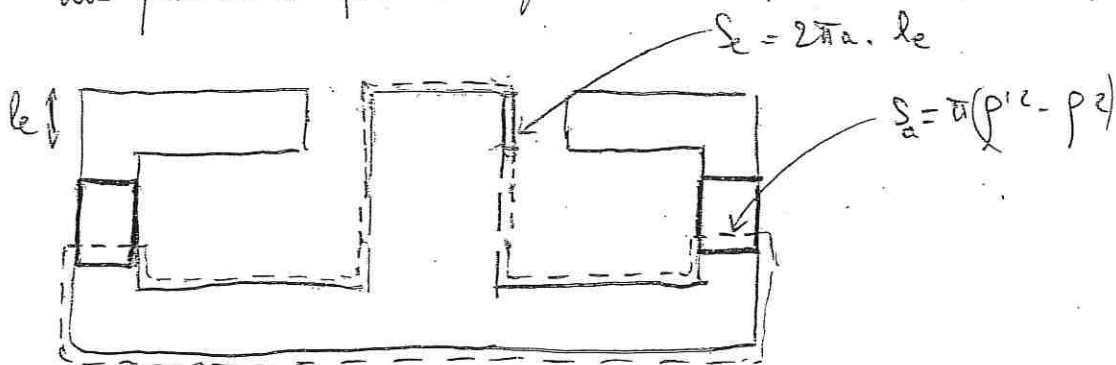
Eg : par $\vec{H}$ (par au programme ...)

ds le ferromagnétique : $H = \frac{B}{\mu_0} + \Pi_1$

ds l'air : $H = \frac{B}{\mu_0}$

la composante normale de H est discontinue à l'interface.

5. • on considère que les lignes de champ qui fuitent hors du fero contribuent par très peu au flux de $\vec{B}$. on fera donc l'hypothèse de la conservation du flux de $\vec{B}$ par les lignes de champ ds le fero ($\mu_{fe} \gg 1$)



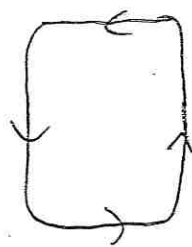
$\Phi = B_a \times \pi (p_1^2 - p_2^2)$ ds l'aimant.

$\Phi = B_e \times 2\pi a \times l_e$

→
$$B_e = B_a \cdot \frac{p_1^2 - p_2^2}{2a l_e} \quad (2)$$

6. - Théorème d'Ampère avec H sur (2)

conséquence de (2)



$$H_a \times l_a + H_e \times e + \cancel{H_{\text{ferro}} \times l_{\text{ferro}}} = 0$$

($\mu \rightarrow +\infty$)

(hyp: pas de courant (cf énoncé))

$$H_a l_a + H_e e = 0 \quad (3)$$

7. (1) $B_a = \mu_0 (H_a - \Pi_1)$ or $H_a = -H_e \frac{e}{l_a} \quad (3)$

$= -\mu_0 \left(H_e \frac{e}{l_a} + \Pi_1 \right)$ or $H_e = \frac{B_e}{\mu_0}$ (dans l'air)

$B_a = -\mu_0 \Pi_1 - \frac{e}{l_a} B_a \frac{p_1^2 - p_2^2}{2a l_e}$

$= \frac{1}{\mu_0} B_a \left(\frac{p_1^2 - p_2^2}{2a l_e} \right) \quad (2)$

$B_a \left(1 + \frac{e(p_1^2 - p_2^2)}{2a l_a l_e} \right) = -\mu_0 \Pi_1$

$$B_a = \frac{-\mu_0 \Pi_1}{1 + \frac{e(p_1^2 - p_2^2)}{2a l_a l_e}}$$

AN: $|B_a| \approx 0,2 T$

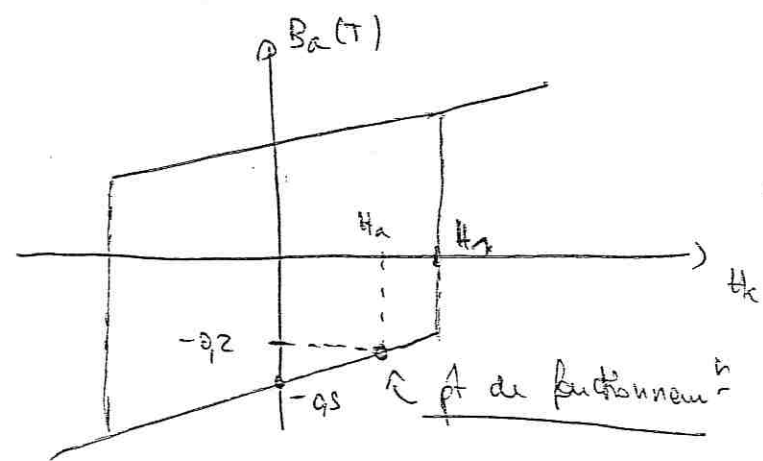
Rq: au 1^{er} pas $a \approx R_b$

8. $B_e = -B_a \frac{p_1^2 - p_2^2}{2a l_e} \approx -2,1 T$

9. $H_e = -\frac{B_e}{\mu_0} \approx -1,7 \text{ kA m}^{-1}$

or avec (2): $H_a = -H_e \frac{e}{l_a} \approx +2,5 \text{ kA m}^{-1}$

il faut que $|H_a| < H_1$



10 - on a des bobines sans enroulement, le flux à l'intérieur de la bobine

$$\mu_0 l_a + \mu_0 l_e = N i$$

$$\left. \begin{aligned} \mu_0 l_e &\approx 5 \times 10^{-3} \text{ A} \\ \mu_0 l_a &\approx 5 \times 10^{-3} \text{ A} \end{aligned} \right\} \text{ pour } i=0$$

$N i = 50 \text{ A} \rightarrow$ le terme $N i$ est une perturbation faible
faible par rapport aux calculs des q's 6, 7, 8, 9.

II - Equations électriques et mécaniques

11 - $i = i(t) \rightarrow$ indep des variables spatiales $\hat{=}$ uniforme.

$$\vec{F}_L = i(t) \oint_{\text{circuit}} d\vec{l} \wedge \vec{B} \quad \text{où } d\vec{l} \text{ est un petit déplacement le long du circuit électrique.}$$

$$\vec{F}_{L_{\text{spire}}} = i \int_0^{2\pi} R_b d\theta \vec{e}_\theta \wedge B_e \vec{u}_n = -i(t) \times 2\pi R_b \times B_e \vec{u}_n$$

$$\boxed{\vec{F}_{L_{\text{spires}}} = N \vec{F}_{L_{\text{spire}}} = -i(t) l B_e \vec{u}_n}$$

12 - Principe fondamental de la dynamique (PFD) à l'équipage mobile; on suppose ds le référentiel du labo suppose galiléen.

$$m \frac{d^2 n}{dt^2} = -i(t) l B_e - K n - h \dot{n}$$

$$\boxed{\ddot{n} + \frac{h}{m} \dot{n} + \frac{K}{m} n = -\frac{i(t) l B_e}{m}} \quad (4)$$

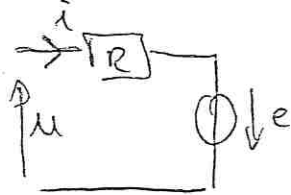
13 - pour 1 spire:



on a donc un circuit mobile ds un champ uniforme: il y a induction de Lorentz.

par ailleurs: $i = i(t) \rightarrow$ il y a auto-induction (flux propre) de la bobine L_s de Neumann.

Modèle électrique:



$$u = Ri - e \quad (*) \quad \checkmark$$

avec $e = e_{\text{Lorentz}} + e_{\text{Neuman}}$.

14-

Soit le système "générateur" contenant $\hat{a}$ et l'engrenage:

- cinétique: $E_c(t) = \frac{1}{2} m \dot{\hat{a}}^2$
- potentielle: $E_p(t) = \frac{1}{2} k \hat{a}^2$
- électromagnétique: $E_{em}(t)$

pendant dt , il reçoit:

- $u \times i \times dt$ par le générateur

et perd:

- $Ri^2 dt$ (effet Joule)
- $h \dot{\hat{a}}^2 dt$ (puissance des frottements $\times dt$)

Bilan: $E_{em}(t+dt) + E_c(t+dt) + E_p(t+dt) = E_{em}(t) + E_c(t) + E_p(t) + u i dt - Ri^2 dt - h \dot{\hat{a}}^2 dt.$

$$dE_{em} + dE_c + dE_p = u i dt - Ri^2 dt - h \dot{\hat{a}}^2 dt. \quad (*)$$

par ailleurs, on a multiplié le PFD par $\hat{a}$:

$$d\left(\frac{1}{2} m \dot{\hat{a}}^2 + \frac{1}{2} k \hat{a}^2\right) = P_{\text{Laplace}} dt + \underbrace{P_{\text{frot}} dt}_{= -h \dot{\hat{a}}^2 dt} \\ = \delta W_L + P_{\text{frot}} dt$$

$$dE_c + dE_p = \delta W_L - h \dot{\hat{a}}^2 dt$$

↓ (*)

$$-dE_{em} + u i dt - Ri^2 dt = \delta W_L$$

enfin: multiplions l'équation électrique (*) par $i dt$

$$u i dt = Ri^2 dt - e i dt = Ri^2 + \delta W_{em}.$$

$$\boxed{-dE_{em} + \delta W_{em} = \delta W_L} \quad \text{cqfd} \quad (5)$$

15. (51) $-e \, dt = -\lambda(t) \ell B_e \frac{dn}{dt} dt + L \lambda di$ en différentiant $\frac{1}{2} L i^2$.

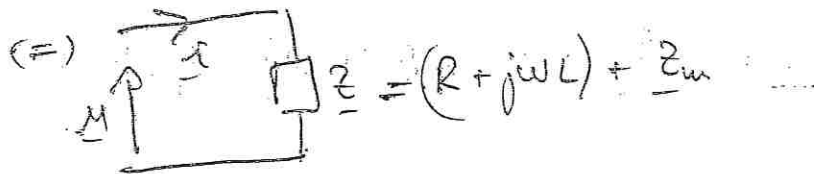
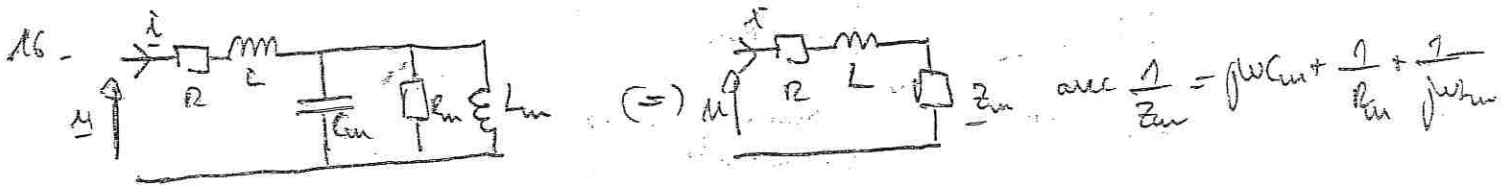
$$\boxed{e = + \ell B_e \frac{dn}{dt} - L \frac{di}{dt}}$$

induction "Lorentz" induction "Neumann"

$$\boxed{\mu = Ri - e = Ri - \ell B_e \frac{dn}{dt} + L \frac{di}{dt}} \quad (6).$$

en RSF; (4'). $\left(-\omega^2 + \frac{k}{m} (j\omega) + \frac{k}{m} \right) \underline{x} = \frac{\lambda \ell B_e}{m}$

(6') $\underline{\mu} = (R + j\omega L) \underline{i} - \ell B_e (j\omega) \underline{x}$



$$\underline{Z} = R + j\omega L + \frac{R_m}{1 + j\omega R C_m + \frac{R}{j\omega L_m}}$$

→ la résonance de $|\underline{Z}|$ est donc contrôlée par celle de $|\underline{Z}_m|$
(on voit que $\underline{Z}_m$ a la "forme d'un passe bande").

$$\underline{Z}_m = \frac{R_m}{1 + jQ \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)}$$

avec $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_m C_m}}$ et $Q = R_m \sqrt{\frac{C_m}{L_m}}$

$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_m C_m}}$ est la fréquence de résonance de $|\underline{Z}_m|$

donc de $|\underline{Z}|$

AN: $f_0 \approx 70 \text{ Hz}$

Si on, on peut tracer $f \rightarrow |\underline{Z}_3|$ avec Pythag et chercher son maximum.