

## le synthétiseur

1. Dans les années 1950.

2. A partir du multi-vibrateur et du compteur, on crée 7 crènes de fréquence variables. A l'aide de 7 filtres <sup>pass ou</sup> passe-bande, appliqués chacun à 1 signal crénelé de fréquence différente, on récupère 7 signaux sinusoidaux de fréquence  $\{ 6 \text{ KHz} \dots 94 \text{ Hz} \}$

Chaque signal pourra être amplifié et/ou déphasé selon le son que l'on souhaite obtenir.

Un circuit sommateur à 7 entrées permet de synthétiser le son final.

## Multi-vibrateur: stable

## 2.1 Comparateur à hystérésis inverses

3.  $Z_e \rightarrow \infty$  # 1  $\Omega$   
 $Z_s \rightarrow 0$  #  $10 - \infty \Omega$   
 $\mu \rightarrow +\infty$  #  $10^7$   
 (Bypassé  $\rightarrow \infty$ ) # 1 MHz

4. Il y a rétroaction sur le borne (+)  $\Rightarrow$  régime stable

5.  $\varepsilon \triangleq V^+ - V^- = V^+ - V_e$ ; LdV en (+)  $Y_1 (E - V^+) + Y_2 (V_s - V^+) = 0$

$$V^+ = \frac{Y_1 E + Y_2 V_s}{Y_1 + Y_2} = \frac{R_2 E + R_1 V_s}{R_1 + R_2}$$

$$\Rightarrow \varepsilon = \frac{R_2 E + R_1 V_s}{R_1 + R_2} - V_e(t)$$

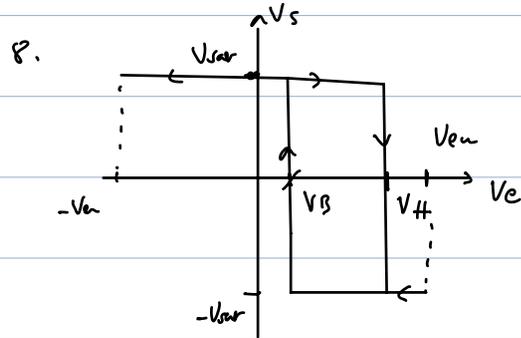
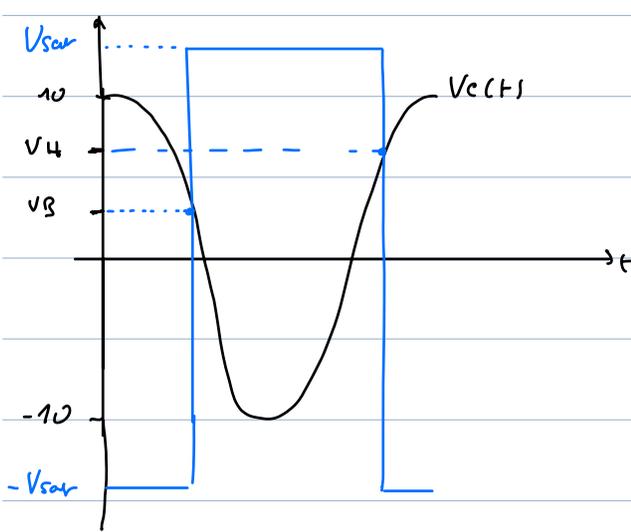
6. hyp:  $V_s = +V_{sat}$  si  $\varepsilon > 0 \Rightarrow V_e(t) < \frac{R_2 E + R_1 V_{sat}}{R_1 + R_2} = V_H$  (valeur de bascule haute)

hyp':  $V_s = -V_{sat}$  si  $\varepsilon < 0 \Rightarrow V_e > \frac{R_2 E - R_1 V_{sat}}{R_1 + R_2} = V_B$  (valeur de bascule basse)

7.  $\begin{cases} R_2 E + R_1 V_{sat} = V_H (R_1 + R_2) \\ R_2 E - R_1 V_{sat} = V_B (R_1 + R_2) \end{cases} \rightarrow \frac{R_2 E}{R_1 + R_2} = \frac{V_H + V_B}{2} = 5V$  valeur centrale du cycle

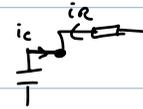
$$R_1 = 1 \text{ k}\Omega = R_2 \Rightarrow E = 10 \text{ V}$$

$$V_{H,B} = \frac{R_2 E}{R_1 + R_2} + \frac{R_1 U_{\text{sat}}}{R_1 + R_2} \quad \text{sym} / \frac{R_2 E}{R_1 + R_2}$$



## 2.2 Étude du signal de sortie

9. loi des nœuds à l'entrée du comparateur  $i_c + i_n = 0$



$$-C \dot{V}_e + \frac{V_s - V_e}{R} = 0 \Rightarrow \dot{V}_e + \frac{V_e}{\tau} = \frac{V_s}{\tau}$$

10. Selon  $Q_B$ ,  $v_e = 0 \rightarrow v_s = +V_{\text{sat}}$  tant que  $V_e < V_H$ .

$$V_e(t) = V_{\text{sat}} (1 - e^{-t/\tau})$$

11.

$$\text{Soit } t_0 / V_e(t_0) = V_H \Rightarrow 1 - e^{-t_0/\tau} = \frac{V_H}{V_{\text{sat}}} \Rightarrow e^{-t_0/\tau} = 1 - \frac{V_H}{V_{\text{sat}}}$$

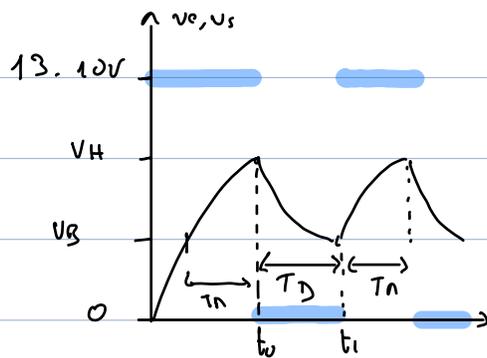
$$t_0 = -\tau \ln \left( 1 - \frac{V_H}{V_{\text{sat}}} \right)$$

$$12. t > t_0 \Rightarrow V_s = 0 \quad \dot{V}_e + \frac{V_e}{\tau} = 0 \Rightarrow V_e(t > t_0) = A e^{-t/\tau}$$

$$\text{en } t = t_0 : V_H = A e^{-t_0/\tau} = A \left( 1 - \frac{V_H}{V_{\text{sat}}} \right)$$

$$A = \frac{V_H V_{\text{sat}}}{V_{\text{sat}} - V_H}$$

$$t_1 / V_e(t_1) = V_B = A e^{-t_1/\tau} \Rightarrow t_1 = -\tau \ln \left( \frac{V_B}{A} \right) = -\tau \ln \left( \frac{V_B}{V_H} \left( 1 - \frac{V_H}{V_{\text{sat}}} \right) \right)$$



$T = T_D + T_N$  le régime est périodique à partir

de  $f_0$

Il faut trouver 1 lien entre  $T_N$  et  $T_D$

$$\text{or } \frac{dv_e}{dt} + \frac{v_e}{\tau} = \frac{v_{sat}}{\tau} \Rightarrow \frac{dv_e}{v_e - v_{sat}} = \frac{dt}{\tau} \Rightarrow \frac{T_N}{\tau} = \ln \frac{v_{sat} - v_B}{v_{sat} - v_H} = \ln \frac{v_H}{v_B} = \frac{T_D}{\tau}$$

$$\Rightarrow T_N = T_D$$

$$T = 2(t_1 - t_0)$$

$$14. T = -2\tau \left( \ln \left( \frac{v_B}{v_H} \left( 1 - \frac{v_H}{v_{sat}} \right) \right) - \ln \left( 1 - \frac{v_H}{v_{sat}} \right) \right) = -2\tau \ln \frac{v_B}{v_H} = 2\tau \ln \left( \frac{v_H}{v_B} \right)$$

$$\hookrightarrow \tau = RC = \frac{1}{f \times 2 \times \ln(v_H/v_B)} \Rightarrow R = 552 \Omega$$

### III Etude du diviseur de fréquence.

15. On suppose qu'un diviseur  $Q = 1$



la fréquence de  $Q$  est donc divisée par 2

par rapport à l'horloge!

$\Rightarrow$  en sortie d'1 bascule  $D$  on a donc 1 signal créneau de fréquence moitié celle du signal créneau délivré par le multivibrateur astable

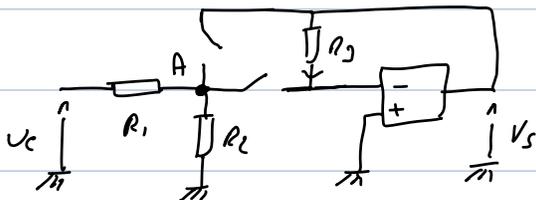
16. Il suffit de les placer les uns à la suite des autres, le sortie de la  $i$ -ème étant l'horloge de la suivante.

#### IV Etude du filtre sélectif

17. Il y a un défaut sur le branch (-)

18. Il faut faire 1 analyse BF et HF

BF



$$i_{R3} = i^- = 0 = \frac{V_S - V^-}{R_3} = \frac{V_S}{R_3} \Rightarrow V_S = 0$$

HF : les 2 condensateurs  $\Rightarrow \varepsilon = 2$  fils et court-circuitent  $V_S$  avec la masse

Il s'agit donc d'un filtre passe-bande

19. Loi des nœuds en (-) : 
$$0 = (V_A - V^-) Y_{C2} + (V_S - V^-) Y_3 \quad \left. \begin{array}{l} \text{cf } Q_1 \\ \text{ici} \end{array} \right\} V_A = -\frac{Y_3}{Y_{C2}} V_S$$

Loi idéal en RL :  $V^- = V^+ = 0$

en A : Il vient : 
$$V_A = \frac{Y_1 V_c + Y_{C1} V_S}{Y_1 + Y_2 + Y_{C1} + Y_{C2}} = -\frac{Y_3}{Y_{C2}} V_S \Rightarrow V_S = -\frac{Y_{C2} Y_1 V_c}{Y_3 (Y_1 + Y_2 + 2Y_{C2}) + Y_{C2}^2}$$

$$\Rightarrow \underline{H} = \frac{-Y_1}{Y_{C2} + Y_3 Y_{C2} (Y_1 + Y_2 + 2Y_{C2})} = \frac{-1}{R_1 Y_{C2} + \frac{R_1 Y_3 Y_{C2}}{Y_2} (Y_1 + Y_2 + 2Y_{C2})} = \frac{-1}{j\omega R_1 C + \frac{1}{2} \frac{1}{j\omega} \left( \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2} + 2j\omega C \right)}$$

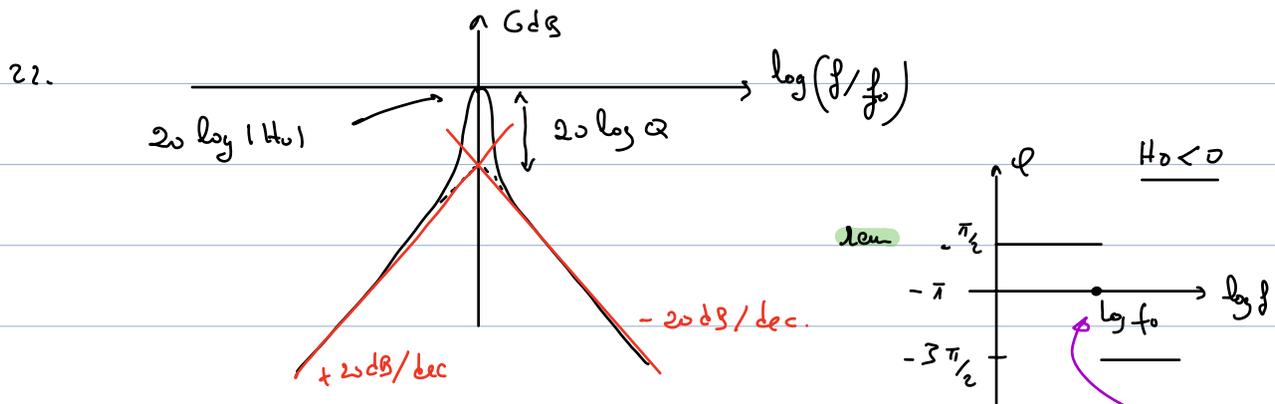
$\leftarrow \times \frac{Z_C}{Z_C}$   
 $\leftarrow \times R_1 / R_1$   
 $\leftarrow \times \frac{1}{2}$

$$\underline{H} = -\frac{1}{1 + j \left( R_1 \omega C - \frac{R_1 + R_2}{2 R_1 R_2} \frac{1}{\omega C} \right)} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} H_0 = -1 \\ Q/\omega_0 = R_1 C \\ Q\omega_0 = \frac{R_1 + R_2}{2 R_1 R_2} \frac{1}{C} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} Q^2 = \frac{R_1 + R_2}{2 R_2} \\ \omega_0 = Q/R_1 C \end{array} \right.$$

20. La fct de transfert bien celle d'un passe-bande (limites ou cours...)

21. AV :  $f_0 = 3 \text{ kHz}$  et  $Q = 20 \Rightarrow$  le filtre est très sélectif, en conformité

avec l'analyse de  $Q_1$  et  $Q_2$ .



23. Dans notre cas:  $\omega_0 = \frac{V_{sat}}{2}$  et  $A = \frac{V_{sat}}{2}$

Vu la valeur élevée de Q seule la composante spectrale de  $v(t)$  proche de  $f_0$  sera transmise; selon l.' "principe" ce filtre va extraire le fondamental du créneau à 3 kHz

$$v_s(t) = \frac{4}{\pi} \frac{V_{sat}}{2} \times \underbrace{1}_{1} \times \sin(2\pi f_0 t + \arg(H(f=f_0))) = \frac{2V_{sat}}{\pi} \sin(2\pi f_0 t)$$

5. Étude du biphaseur / amplificateur / sommateur

Q24. Calculons la FT du montage. A priori, circuit  $\Rightarrow$  régime linéaire possible

l.d.N en (-): 
$$V^- = \frac{Y_1 U_e + Y_1 U_s}{2Y_1} = V^+ = \frac{Z_c}{Z_c + R} U_e \quad (\text{pont à diodes car } i^+ = 0)$$

$$\Rightarrow (Z_c + R) U_e + (Z_c + R) V_s = 2 Z_c U_e$$

$$\underline{H} = \frac{U_s}{U_e} = \frac{Z_c - R}{(Z_c + R)} \times \frac{Y_c}{Y_c} = \frac{1 - jRC\omega}{1 + jRC\omega} \rightarrow \begin{cases} |H| = 1 \\ \varphi = \arg \underline{H} = -2 \arctan(RC\omega) \end{cases}$$

$0 \leq \varphi \leq -\pi$  lorsque  $0 \leq \omega \leq \infty$

Le circuit biphase la tension d'entrée d'1 valeur réglable entre 0 et  $-\pi$

25.  $\underline{H}_1 = 1 + \frac{R_2}{R_1}$ ;  $\underline{H}_2 = -\frac{R_2}{R_1}$  les 2 circuits permettent d'amplifier. (2) biphase de  $\pi$

Compte tenu du biphase de  $\pi$  induit par  $H_2 = -1$ , (2) me semble inutile d'autant

plus que  $Z_{c(1)} = +\infty$ , le montage (1) permet une associat facile avec la partie précédente

rem: De façon générale cet aspect d'association de parties du circuit entre elles n'est pas toujours évident. Rappelons que'il faut  $Z_f(n-1) \ll Z_f(n)$  pour que le branchement de l'étage  $(n-1)$  sur  $e(n)$  ne modifie pas leur propriété.

Si cette condition n'est pas remplie, on utilise un sumateur

## 26. Montage sumateur

rétrécit sur la borne (-)...

$$\text{ldar (+): } (v_1 - v^+)Y + (v_2 - v^+)Y = 0 \Rightarrow v^+ = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

$$\text{ldar (-): } v^- = \frac{v_s}{2} = v^+ \Rightarrow v_s = v_1 + v_2 \quad \text{Il s'agit bien de l'opérateur "somme" (ou par \(\div\))}$$

## Partie CAN

27. Il faut respecter le critère de Shannon :  $f_c \geq 2 f_{\max}$

$$\text{Soit ds ce cas la: } f_c \geq 2 \times 6 = 12 \text{ kHz} \quad (\text{j'ai pris } f_{\max} = 6 \text{ kHz})$$

$$\text{On compte 7 comparateurs, donc } N=3 : 2^3 - 1 = 7$$

(et on compte 3 traits sur la logique de code...)

28. On compte 16r en haut, donc par ex :  $V_7 = \frac{7}{16r} V_{\text{ref}}$ ,  $V_6 = \frac{3r}{16r} V_{\text{ref}} \dots$

$$\text{de façon générale } V_k = \frac{15-2k}{16} V_{\text{ref}}$$

par exemple si  $V_7 < u < V_6 \Rightarrow$  sorties : 000000 1  $s_n$  vaut alors 1

$V_1 < u < V_{\text{ref}}$  sorties : 1111111  $s_n$   $\xrightarrow{7}$  (2<sup>2</sup> + 2<sup>1</sup> + 2<sup>0</sup>) (décimale)

Sur l'exemple demandé :  $\frac{9}{16} V_{\text{ref}} = 1,125 < 1,33 < \frac{11}{16} V_{\text{ref}} = 1,375$  sortie 0011111

donc  $s_n = 5$  en décimale soit 2 + 2<sup>0</sup> = 101 en base 2

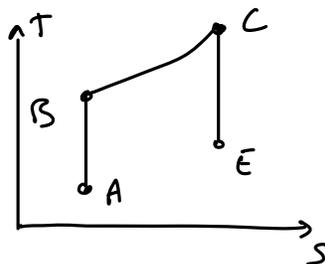
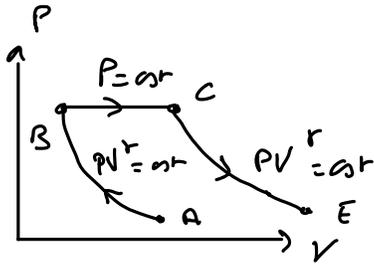
29: avantages: rapide car la conversion est réalisée en 1 cycle d'horloge

inconvénients: le nombre de comparateurs  $\propto$  exponentielle avec  $N(2^N) \rightarrow$  coût, place...

12. Les états se représentent sous la forme suivante



Avec les hypothèses du sujet, on a:  $PV^\gamma = \text{cte}$  puis  $P = \text{cte}$  et enfin  $PV^\gamma = \text{cte}$  (GS, iso-S)



Équation de BC:

$$dH = TdS + VdP$$

$$C_p dT = TdS \Rightarrow C_p \frac{dT}{T} = dS$$

$$\text{et donc: } C_p \ln\left(\frac{T}{T_0}\right) = S - S_0 \Rightarrow T = T_0 e^{\frac{S - S_0}{C_p}}$$

13. L'état de le compresseur est adiabatique réversible (ou isentropique)

le gaz est parfait  $\Rightarrow$  les lois de Laplace s'appliquent

$$P^{1-\gamma} T^\gamma = \text{cte} \Rightarrow P_0^{1-\gamma} T_0^\gamma = P_1^{1-\gamma} T_1^\gamma$$

$$T_1 = T_0 \left(\frac{P_0}{P_1}\right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}$$

AN:  $T_1 = 464 \text{ K}$   
 $\theta_1 = 191^\circ \text{C}$

Avec l'hyp. de régime permanent, on a:  $\dot{m} \Delta_A^B h = \dot{m} c_p (T_1 - T_0) = P_c$

AN:  $P_c = 11,1 \text{ MW}$  (ec  $\ll h$ )

14. Dans le chambre de combust. le PFSO s'écrit:

$$\dot{m} \Delta_B^C h = P_{th, \text{KERO}} \Rightarrow \dot{m} c_p (T_2 - T_1) = q \dot{D}_c$$

$\hookrightarrow$  débit de carburant

$$\dot{D}_c = \frac{\dot{m} c_p (T_2 - T_1)}{q}$$

AN:  $\dot{D}_c = 1 \text{ kg.s}^{-1} \ll \dot{m} = 65 \text{ kg.s}^{-1}$

15. On a donc  $P_c + P_T = 0$  car  $|P_c| = |P_T|$  et  $P_c > 0$  tandis que  $P_T < 0$

(le fluide fournit de la puissance à la turbine et en reçoit du compresseur)

et donc  $\underbrace{Dm C_p (T_1 - T_0)}_{\text{PPSO compresseur}} + \underbrace{Dm C_p (T_3 - T_2)}_{\text{PPSO turbine}} = 0 \Rightarrow T_3 = T_2 + T_0 - T_1$   
 AN:  $T_3 = 962 \text{ K}, \theta_3 = 689^\circ \text{C}$

Évolut. iso-S d'1 GP:  $P_3^{1-\gamma} T_3^\gamma = P_2^{1-\gamma} T_2^\gamma \Rightarrow P_3 = P_2 \left( \frac{T_2}{T_3} \right)^{\frac{\gamma}{1-\gamma}}$

AN:  $P_3 = 2,8 \text{ bar}$

16. idem:  $P_3^{1-\gamma} T_3^\gamma = P_4^{1-\gamma} T_4^\gamma \Rightarrow T_4 = T_3 \left( \frac{P_3}{P_4} \right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}$

AN:  $T_4 = 717 \text{ K}, \theta_4 = 444^\circ \text{C}$

17. RPSO entre 3 et 4, en tenant compte à présent de  $e_{cf}$

$Dm \left( C_p (T_4 - T_3) + \frac{1}{2} v_{s,t}^2 \right) = 0 \rightarrow \begin{cases} - \text{pas de partie mobile} \\ - \text{calorifugée} \end{cases}$

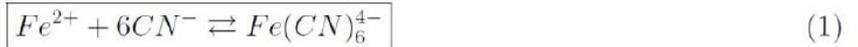
$v_{s,t} = \sqrt{2 C_p (T_3 - T_4)}$

AN:  $v_{s,t} = 700 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Enfin:  $\Pi = Dm v_{s,t} = 45,5 \text{ kW}$

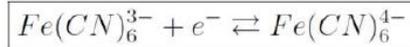
# Interprétation de courbes intensité-potentiel corrigé

1. Il peut se produire la réaction (1)



Elle est quasi totale, il suffit de regarder si l'ion cyanure est un réactif limitant ou pas pour conclure. Or  $[CN^{-}]_0 = 0.7 > 0.1 * 6$ , conclusion : l'ion Fer (II) est pratiquement intégralement sous forme du complexe hexa-coordiné  $Fe(CN)_6^{4-}$

2. La demi-équation électronique du couple est



Par ailleurs la formation des complexes n'est pas une réaction rédox (il n'y a pas d'électrons échangés dans la réaction (1)) donc les no du Fer ne sont pas modifiés . Le couple  $Fe(CN)_6^{3-}/Fe(CN)_6^{4-}$  est donc un représentant du couple III/II, comme  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$ .

On a donc

$$E(III/II) = E(Fe^{3+}/Fe^{2+}) = E(Fe(CN)_6^{3-}/Fe(CN)_6^{4-})$$

$$E^0(Fe^{3+}/Fe^{2+}) + 0.06 \log \left( \frac{[Fe^{3+}]}{[Fe^{2+}]} \right) = E^0(Fe(CN)_6^{3-}/Fe(CN)_6^{4-}) + 0.06 \log \left( \frac{[Fe(CN)_6^{3-}]}{[Fe(CN)_6^{4-}]} \right) \quad (2)$$

Par ailleurs

$$\beta_6^{III} = \frac{[Fe(CN)_6^{3-}]}{[Fe^{3+}][CN^{-}]^6}$$

donc

$$[Fe^{3+}] = \frac{[Fe(CN)_6^{3-}]}{\beta_6^{III}[CN^{-}]^6}$$

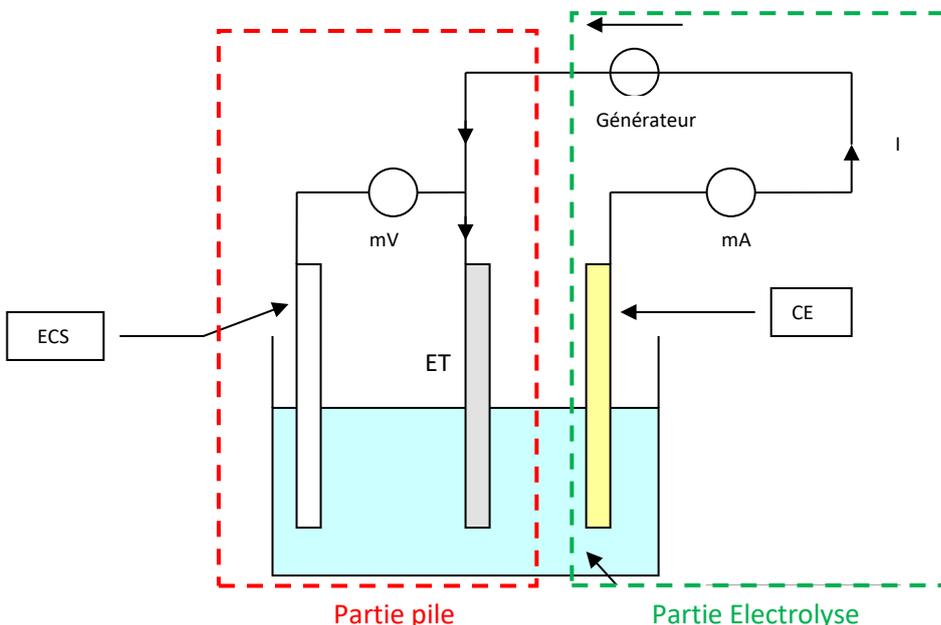
de même

$$[Fe^{2+}] = \frac{[Fe(CN)_6^{4-}]}{\beta_6^{II}[CN^{-}]^6}$$

en remplaçant les expressions ci-dessus dans (2), on trouve

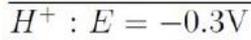
$$\boxed{E^0(Fe(CN)_6^{3-}/Fe(CN)_6^{4-}) = E^0(Fe^{3+}/Fe^{2+}) + 0.06 \log \left( \frac{\beta_6^{II}}{\beta_6^{III}} \right) = 0.35V}$$

3. Schéma ci-dessous ; explications dans le cours

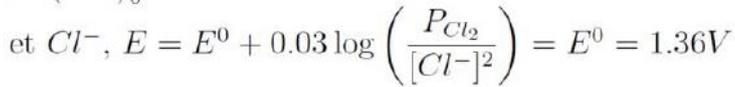
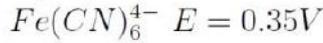
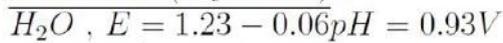


4.

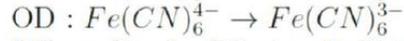
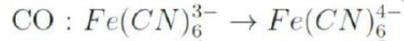
oxydants (réductibles) :



réducteurs (oxydables) :



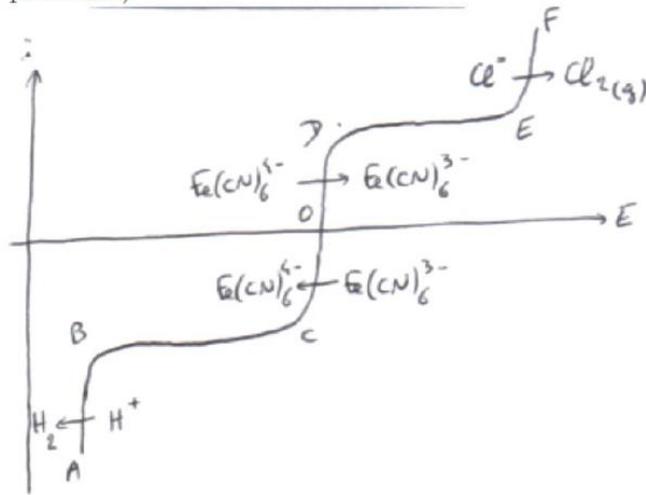
BC : palier de diffusion de  $Fe(CN)_6^{3-}$



DE : palier de diffusion de  $Fe(CN)_6^{4-}$

EF : l'odeur piquante est révélatrice de  $Cl^- \rightarrow Cl_2$

il doit y avoir une surtension importante de l'eau sur le platine décalant son oxydation (en terme de potentiel)



5. Les trois valeurs sont donc  $-0,3 V$  ;  $+0,35 V$  ;  $1,36 V$ .

On ne connaît pas les surtensions, notamment pour le couple  $H^+/H_2$ . Les couples du fer sont rapides : franchissement net de l'axe des E. On ne sait pas si  $Cl_2/Cl^-$  est rapide ou lent.

6.

La surtension de l'eau sur le platine platiné doit être faible, l'oxydation de l'eau a lieu avant celle de l'ion chlorure

