

Examen FinalCHM 2532

Date: 10 déc., 2011

Nom d'étudiant(e) \_\_\_\_\_

Durée: 3 heures

# d'étudiant(e) \_\_\_\_\_

Professeur: H. Teitelbaum

Page 1 de 12

- Instructions:
1. Répondre aux questions sur les feuilles de l'examen, mais faire attention aux choix disponibles.
  2. Calculatrices électroniques sont permises.
  3. Ni livres ni notes ne sont permises.
  4. Les points sont indiqués dans la marge des pages
- 

**Répondez à la question 1 ou 2**

1. Méthane gazeux,  $\text{CH}_4$ , initialement à 2 L, 1 atm et 25 °C est comprimé à un état final de 1 L.

a) Calculer la valeur de  $\bar{C}_v$ .

b) Quelles sont les valeurs de  $q$ ,  $w$ ,  $\Delta U$  et  $\Delta S$ , si le processus se fait à

i) pression constante,

ii) température constante?

**OU**

2. Le méthane gazeux,  $\text{CH}_4$ , initialement à 2 L, 1 atm et 25 °C est comprimé adiabatiquement à un état final de 1 L.

a) Calculer la valeur de  $\bar{C}_v$ .

b) Calculer la pression finale et la température finale ainsi que  $w$ ,  $\Delta U$  et  $\Delta S$ .

①  $\text{CH}_4$  - 5 atomes, non linéaire

$$a) \bar{C}_V = \frac{3}{2}R + \frac{3}{2}R + (3N-6)R = (3R+9R) = 12R = 12 \times 8.31 = 99.72 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$b) V_1 = 2 \text{ L}, V_2 = 1 \text{ L} \therefore \Delta V = -1 \text{ L}$$

$$(i) w = -p \Delta V = +1 \text{ atm} \times 1 \text{ L} = 1 \text{ Latm} = 101.27 \text{ J}$$

$$n = \frac{pV_1}{RT_1} = \frac{1 \times 2 \text{ Latm}}{0.08206 \times 298.15 \text{ Latm mol}^{-1} \text{ K}^{-1}} = 0.08175 \text{ mol}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{p_1 V_1} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{1}{2}$$

$$\therefore T_2 = \frac{1}{2} \times T_1 = \frac{1}{2} (298.15) = 149.08 \text{ K}$$

$$\therefore \Delta T = (T_2 - T_1) = 149.08 - 298.15 = -149.08 \text{ K}$$

$$\Delta U = n \bar{C}_V \Delta T = -0.08175 \times 99.72 \times 149.08 = -1215 \text{ J}$$

$$q = \Delta U - w = -1215 - (101) = -1316 \text{ J}$$

$$\Delta S = n \left( \bar{C}_V \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{V_2}{V_1} \right) = n \left( \bar{C}_V \ln \frac{1}{2} + R \ln \frac{1}{2} \right) = n \bar{C}_p \ln \frac{1}{2} = -n \bar{C}_p \ln 2$$

$$= -0.08175 \times (99.72 + 8.31) \ln 2 = -6.12 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$(ii) T \text{ ct} \rightarrow T_2 = T_1 = 298.15 \rightarrow \Delta T = 0$$

$$\Delta U = n \bar{C}_V \Delta T = 0$$

$$w = -nRT \ln \frac{V_2}{V_1} = -0.08175 \times 8.31 \times 298.15 \ln \frac{1}{2} = 140.4 \text{ J}$$

$$q = \Delta U - w = -w = -140.4 \text{ J}$$

$$\Delta S = n \left( \bar{C}_V \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{V_2}{V_1} \right) = n R \ln \left( \frac{1}{2} \right) = -0.08175 \times 8.31 \ln 2$$

$$= -0.471 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$\text{CH}_4$  - 5 atomes, non linéaire

$$a) \bar{C}_V = \frac{3}{2}R + \frac{3}{2}R + (3N-6)R = 12R = 12 \times 8.31 = 99.72 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$\bar{C}_p = 99.72 + 8.31 = 108.03$$

$$b) n = \frac{p_1 V_1}{RT_1} = \frac{1 \times 2 \text{ Latm}}{0.08206 \text{ Latm mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \times 298.15 \text{ K}} = 0.08175 \text{ mol}$$

$$\gamma = \frac{\bar{C}_p}{\bar{C}_V} = \frac{108.03}{99.72} = 1.0833$$

$$\frac{p_2}{p_1} = \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^\gamma = (2)^{1.0833} = 2.119 \therefore p_2 = 2.119 \times p_1 = 2.119 \text{ atm}$$

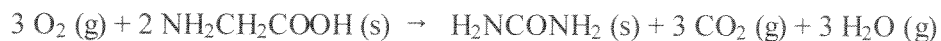
$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{p_1 V_1} = \frac{2.119 \times 1}{1 \times 2} = 1.0595 \therefore T_2 = 1.0595 T_1 = 1.0595 \times 298.15 = 315.88 \text{ K}$$

$$\Delta U = n \bar{C}_V (T_2 - T_1) = 0.08175 \times 99.72 \times (315.88 - 298.15) = 144.5 \text{ J}$$

$$q = 0 \therefore w = \Delta U - q = 144.5 - 0 = 144.5 \text{ J}$$

$$\Delta S = 0$$

3. La glycine est oxydée pour donner l'urée, selon le processus suivant:



Calculer  $\Delta\bar{H}$  et  $\Delta\bar{U}$  pour cette réaction. Les enthalpies standard de formation sont données pour 298 K dans le tableau ci-dessous:

	$\Delta\bar{H}_f^0$ (kJ mol <sup>-1</sup> )
NH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> COOH (s)	- 537.2
H <sub>2</sub> NCONH <sub>2</sub> (s)	- 333.17
CO <sub>2</sub> (g)	- 393.51
H <sub>2</sub> O (g)	- 241.82

$$\Delta\bar{H} (\text{réaction}) = 3(-241.82) + 3(-393.51) + (-333.17) - 2(-537.2) - 0$$

$$= (-1164.76) \text{ kJ mol}^{-1}$$

[6]

$$\Delta\bar{H} = \Delta\bar{U} + \Delta(P\bar{V})$$

$$= \Delta\bar{U} + RT\Delta n \quad (\text{seulement les substances gazeuses})$$

$$= \Delta\bar{U} + 3RT$$

$$\Delta n = 3$$

$$\Delta\bar{U} = \Delta\bar{H} - 3RT$$

$$= -1164.76 - \frac{3 \times 8.31 \times 298}{1000}$$

$$= (-1172.19 \text{ kJ mol}^{-1})$$

Répondez à la question 4 ou 5

4. La température normale d'ébullition de l'eau est de 100 °C.

- a) Étant donné que son enthalpie de vaporisation est de 43.6 kJ mol<sup>-1</sup>, calculer son point d'ébullition lorsque l'eau dans une cocotte minute est soumise à une pression de 1.5 atm.
- b) Calculer son entropie de vaporisation à 100 °C.

OU

5. La constante d'équilibre pour la combinaison d'un inhibiteur avec l'enzyme, l'anhydrase carbonique, a été étudiée en fonction de la température. À 16 °C on a trouvé que  $K = 7.25 \times 10^7$ , tandis qu'à 37.5 °C on a trouvé que  $K = 2.0 \times 10^7$ . Déterminer la valeur de  $\Delta G^\circ$ ,  $\Delta H^\circ$ , et  $\Delta S^\circ$  pour ce processus à 37.5 °C.  $\rightarrow 310.65 \text{ K}$

$$\textcircled{4} \text{ a) } \ln(p_2/p_1) = -\frac{\Delta \bar{H}}{R} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

$$\ln\left(\frac{1.5}{1}\right) = -\frac{43600}{8.31} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{373} \right)$$

$$\frac{0.4055 \times 8.31}{43600} = \frac{1}{373} - \frac{1}{T_2}$$

$$\frac{1}{T_2} = 2.604 \times 10^{-3}$$

$$T_2 = \textcircled{384.07 \text{ K}} = \textcircled{110.9 \text{ °C}}$$

$$\text{b) } \Delta \bar{S}_{\text{vap}} = \frac{\Delta \bar{H}_{\text{vap}}}{T}$$

$$= \frac{43600}{373.15}$$

$$= \textcircled{116.84 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}}$$

$$\textcircled{5} \ln(K_2/K_1) = -\frac{\Delta \bar{H}}{R} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

$$\ln\left(\frac{2.0 \times 10^7}{7.25 \times 10^7}\right) = -\frac{\Delta \bar{H}}{R} \left( \frac{1}{310.65} - \frac{1}{298.15} \right)$$

$$-1.288 = -\frac{\Delta \bar{H}}{8.31} \times (-2.394 \times 10^{-4})$$

$$\Delta \bar{H} = -\frac{1.288 \times 8.31}{2.394 \times 10^{-4}}$$

$$= \textcircled{-44.72 \text{ kJ mol}^{-1}}$$

$$\Delta \bar{G}^\circ = -RT \ln K_{\text{eq}}$$

$$= -8.31 \times 310.65 \ln(2.0 \times 10^7)$$

$$= \textcircled{-43.40 \text{ kJ mol}^{-1}}$$

$$\Delta \bar{G}^\circ = \Delta \bar{H}^\circ - T \Delta \bar{S}^\circ$$

$$\therefore \Delta \bar{S}^\circ = \frac{\Delta \bar{H}^\circ - \Delta \bar{G}^\circ}{T}$$

$$= \frac{-44.717 + 43.40}{310.65}$$

$$= \textcircled{-4.245 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}}$$

[8]

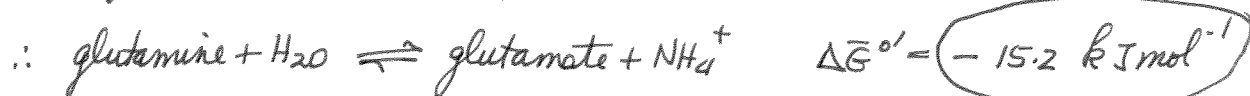
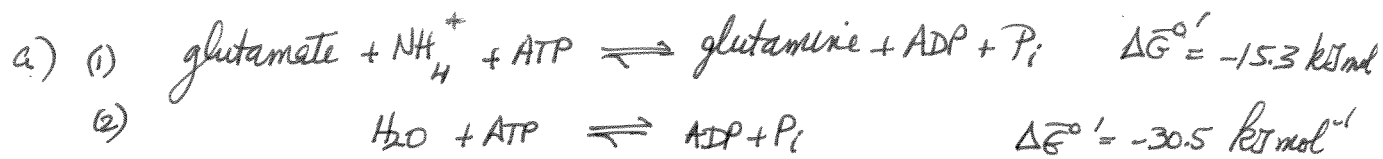
6. L'enzyme, glutamine synthétase, catalyse la réaction suivante:



Pour cette réaction,  $\Delta\bar{G}_0' = -15.3 \text{ kJ mol}^{-1}$  à  $37^\circ\text{C}$ . Pour l'hydrolyse de l'ATP (afin de produire l'ADP +  $\text{P}_i$ )  $\Delta\bar{G}_0' = -30.5 \text{ kJ mol}^{-1}$ .

- a) Calculer la valeur de  $\Delta\bar{G}_0'$  pour l'hydrolyse de la glutamine afin de produire le glutamate et  $\text{NH}_4^+$ .
- b) Déterminer si, dans les conditions non standard,  $[\text{glutamate}] = 10^{-4} \text{ M}$ ,  $[\text{NH}_4^+] = 10^{-5} \text{ M}$ ,

$[\text{ATP}] = 10^{-4} \text{ M}$ ,  $[\text{glutamine}] = 10^{-3} \text{ M}$ ,  $[\text{ADP}] = 10^{-3} \text{ M}$ ,  $[\text{P}_i] = 10^{-3} \text{ M}$ , la réaction se déroulera spontanément ou non à  $37^\circ\text{C}$ .



[8]

b) 
$$\Delta\bar{G}' = \Delta\bar{G}_0' + RT \ln \left( \frac{[\text{glutamine}][\text{ADP}][\text{P}_i]}{[\text{glutamate}][\text{NH}_4^+][\text{ATP}]} \right)$$

$$= -15300 + 8.314 \ln \left( \frac{10^{-3} \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-3}}{10^{-4} \cdot 10^{-5} \cdot 10^{-4}} \right)$$

$$= -15300 + 8.31 \times 310 \ln 10^4$$

$$= +8.427 \text{ kJ mol}^{-1}$$

Non-spontanée.

7. Une solution de 39 g de glucose dans 1 kg d'eau a un point de congélation qui est de 0.4 K en dessous de celle de l'eau pure. De ces données calculer la masse molaire du glucose. (La constante cryoscopique de l'eau est de  $1.86 \text{ K kg mol}^{-1}$ ).

$$m_B = \frac{39}{M}$$

$$\Delta T = -\nu K_f m_B$$

[4]

$$-0.4 = -1 \times 1.86 \times \frac{39}{M}$$

$$M = \frac{1.86 \times 39}{0.4} = 181.4 \text{ g mol}^{-1}$$

8. La pression de vapeur d'eau pure à 323 K est de 0.122 atm. Dans une solution aqueuse contenant 510 g de saccharose ( $342 \text{ g mol}^{-1}$ ) dans 1 L d'eau, la pression de vapeur est mesurée d'être 0.1165 atm (at 323 K). Calculer le coefficient d'activité de l'eau sous ces conditions.

$$n_B = \frac{510 \text{ g}}{342 \text{ g mol}^{-1}} = 1.491 \text{ mol}$$

$$n_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{1000 \text{ g}}{18 \text{ g mol}^{-1}} = 55.556 \text{ mol}$$

[6]

$$X_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{55.556}{55.556 + 1.491} = 0.9739$$

$$P_{\text{H}_2\text{O}} (\text{Raoult}) = P_{\text{H}_2\text{O}}^{\circ} X_{\text{H}_2\text{O}} = 0.122 \times 0.9739 = 0.1188 \text{ atm}$$

$$P_{\text{reelle}} = 0.1165 \text{ atm}$$

$$\gamma = \frac{P_{\text{reelle}}}{P_{\text{Raoult}}} = \frac{0.1165}{0.1188} = 0.985$$

Répondez à la question 9 ou 10

9. a) Calculer le coefficient d'activité moyenne,  $\gamma_{\pm}$ , de 0.1 M  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ .  
 b) Calculer la concentration ionique moyenne,  $c_{\pm}$ , et l'activité moyenne,  $a_{\pm}$

OU

10.  $\text{AgCl}$  est peu soluble dans l'eau pure. Son  $K_{sp}$  est de  $1.6 \times 10^{-10}$  à 298 K. Calculer la concentration des ions  $\text{Ag}^+$  en solution si 0.01 M  $\text{NaCl}$  est présent. Celle-ci est une solution non idéale ; donc veillez à utiliser les activités dans l'expression pour la constante d'équilibre.

9)  $[\text{Na}_3\text{PO}_4] = c$   
 $[\text{Na}^+] = c_+ = 3c, Z^+ = 1$   
 $[\text{PO}_4^{3-}] = c_- = c, Z^- = -3$   
 $I = \frac{1}{2} \sum_i c_i Z_i^2 = \frac{1}{2} (3c \times 1^2 + c \times 3^2) = 6c$

a)  $\log_{10} \gamma_{\pm} = -0.510 |Z_+ Z_-| \sqrt{I}$   
 $= -0.510 \times 3 \times 1 \sqrt{6 \times 0.1}$   
 $= -1.1851$

$\gamma_{\pm} = 0.0653$

b)  $c_{\pm}^4 = c_+^3 c_-$   
 $= (3c)^3 c$   
 $= 27c^4$   
 $c_{\pm} = (27c^4)^{1/4} = (27)^{1/4} c$   
 $= 2.2795 \times 0.1$   
 $= 0.2280 \text{ M}$

$a_{\pm} = \gamma_{\pm} c_{\pm}$   
 $= 0.0653 \times 0.2280$   
 $= 0.01488 \text{ M}$

10)  $I = \frac{1}{2} \sum_i c_i Z_i^2$   
 $= \frac{1}{2} (0.01 \times 1^2 + 0.01 \times 1^2) = 0.01 \text{ M}$

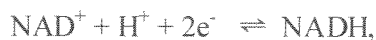
$\log_{10} \gamma_{\pm} = -0.51 \times 1 \times 1 \sqrt{0.01}$   
 $= -0.051$

$\gamma_{\pm} = 0.8892$

$K_{sp} = a_{\text{Ag}^+} a_{\text{Cl}^-}$   
 $= \gamma_+ [\text{Ag}^+] \gamma_- [\text{Cl}^-]$   
 $= \gamma_{\pm}^2 [\text{Ag}^+] [\text{Cl}^-]$   
 $\rightarrow 0.01 \text{ M}$

$[\text{Ag}^+] = \frac{K_{sp}}{\gamma_{\pm}^2 [\text{Cl}^-]}$   
 $= \frac{1.60 \times 10^{-10}}{(0.8892)^2 \times 0.01}$   
 $= 2.02 \times 10^{-8} \text{ M}$

11. Le potentiel standard (chimique) de réduction de la demi-réaction,



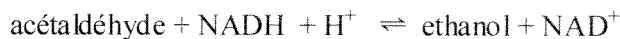
à 25 °C est de - 0.110 V.

a) Quelle est la valeur de E à pH 7 ? ([NAD<sup>+</sup>] = [NADH] = 1M)

b) Quelle est la valeur du potentiel standard (biochimique) de réduction, E<sub>0</sub>' , à 25 °C?

c) Pour la réaction, acétaldéhyde + 2H<sup>+</sup> + 2e<sup>-</sup> ⇌ ethanol,

E<sub>0</sub>' = - 0.197 V. Calculer la constante d'équilibre à 25°C pour la réaction couplée,



a) 
$$E = E_0 - \frac{RT}{nF} \ln \left( \frac{[\text{NADH}]}{[\text{NAD}^+][\text{H}^+]}\right)$$

$n=2$

$$= -0.110 - \frac{8.31 \times 298.15}{2 \times 96485} \ln \left( \frac{1}{1 \times 10^{-7}} \right)$$

$$= -0.110 - 0.01283 \ln 10^7$$

$$= -0.110 - 0.207$$

$$= \boxed{-0.317 \text{ V}}$$

[8]

b) Par définition E<sub>0</sub>' =  $\boxed{-0.317 \text{ V}}$

c) (1)  $\text{NAD}^+ + \text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{NADH}$   $E^{\circ'} = -0.317 \text{ V}$   
 (2)  $\text{acétaldéhyde} + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{ethanol}$   $E^{\circ'} = -0.197 \text{ V}$



$$E^{\circ'} = -0.197 - (-0.317) = \boxed{0.120 \text{ V}}$$

$$K' = e^{\frac{nFE^{\circ'}}{RT}} = \exp \left( \frac{2 \times 96485 \times 0.120}{8.31 \times 298} \right)$$

$$= \boxed{1.151 \times 10^4}$$

Répondez à la question 12 ou 13

12. Les données suivantes ont été obtenues pour la désintégration radioactive de l'isotope  $^{24}\text{Na}$ . Le nombre de désintégrations par minute est proportionnel à la quantité de  $^{24}\text{Na}$  restante :

Temps / h	0	4	8	12	16	20	24
Désintégrations $\text{min}^{-1}$	478	395	329	272	226	187	155
$\ln D$	6.17	5.98	5.80	5.61	5.42	5.23	5.04

- a) Quel ordre de réaction attendez-vous que cela soit?

1<sup>er</sup> ordre

- b) Sur la base de votre réponse à la partie (a) utiliser une méthode graphique pour calculer la constante de vitesse de la désintégration et la demi-vie de l'isotope.

$$\text{pente} = -0.0469 \text{ h}^{-1} = -k$$

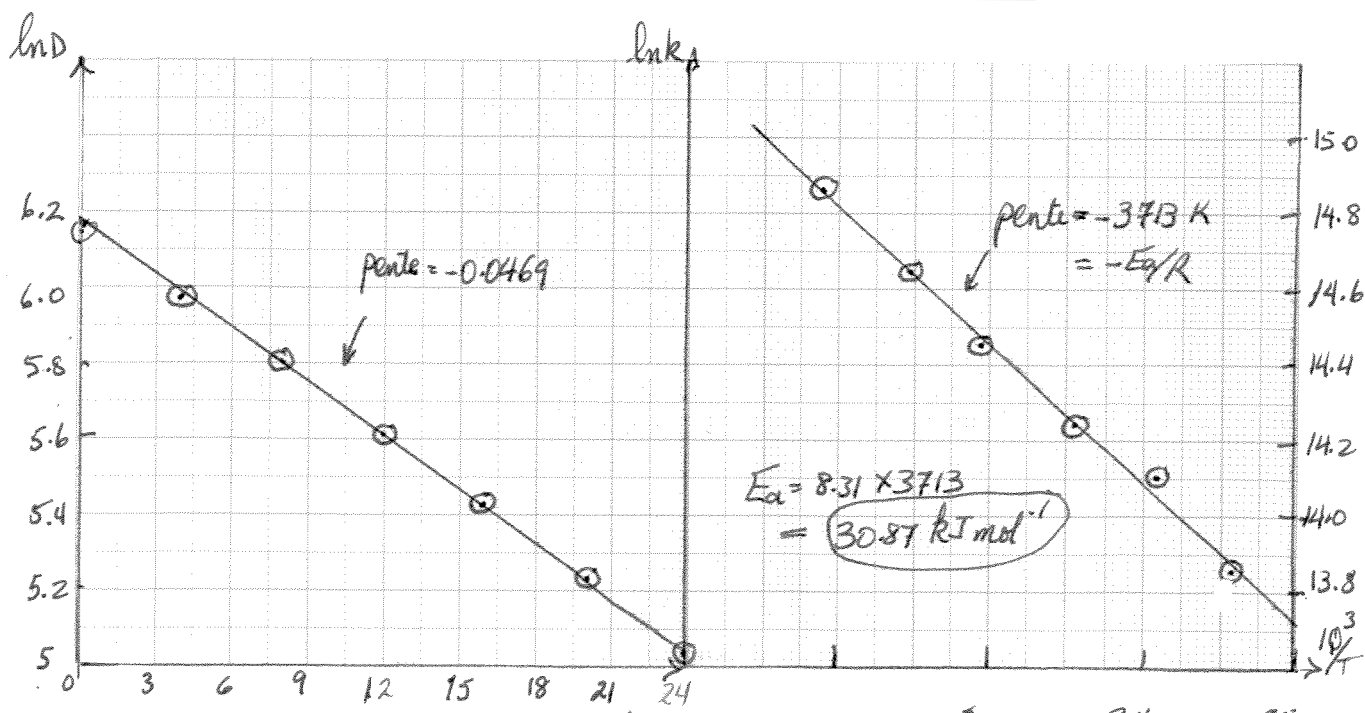
$$k = 0.0469 \text{ h}^{-1}$$

OU

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k} = 14.8 \text{ h}$$

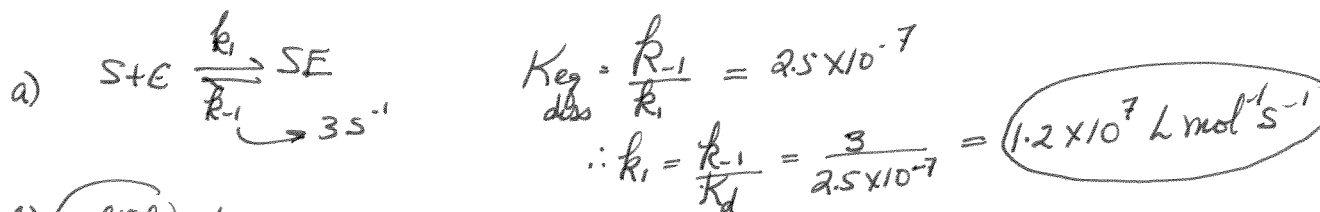
13. La constante de vitesse pour la combinaison d'un inhibiteur avec l'enzyme, l'anhydrase carbonique, a été étudiée en fonction de la température, et les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous. Utilisez une méthode graphique pour calculer l'énergie d'activation de cette réaction.

T / °C	15.85	20.35	24.95	30.05	34.85	40.35
k / $10^6 \text{ L mol}^{-1} \text{ s}^{-1}$	1.04	1.34	1.53	1.89	2.29	2.84
1/T / $10^{-3} \text{ K}^{-1}$	3.460	3.407	3.355	3.298	3.247	3.190
$\ln k$	13.855	14.108	14.241	14.452	14.644	14.859



14. NADH (S) et l'enzyme, l'alcool déshydrogénase de foie (E), forment un complexe, ES. Ce complexe se dissocie pour revenir à la NADH libre avec une constante de vitesse de  $3 \text{ s}^{-1}$ . La constante d'équilibre pour cette dissociation de l'ES pour faire E + S est de  $2.5 \times 10^{-7}$ .

- a) Calculer la valeur de la constante de vitesse de la réaction,  $E + S \rightleftharpoons ES$ .
- b) Quel est l'ordre de la réaction,  $E + S \rightleftharpoons ES$  ?
- c) Utiliser la réponse à la partie (b) pour calculer la demi-vie pour la réaction,  $E + S \rightleftharpoons ES$ , si les concentrations initiales de NADH et de l'enzyme sont de  $10^{-4} \text{ M}$ .
- d) Or, ES se décompose pour former un produit, P, avec une constante de vitesse,  $k_{\text{cat}} = 27 \text{ s}^{-1}$ . Sous les conditions de la partie c) calculer la vitesse de formation du produit, P.
- e) La réaction est répétée ; mais cette fois, les concentrations de NADH et de l'enzyme sont chacune de  $10^{-6} \text{ M}$ . Quelle est la vitesse de formation de P comparée avec la vitesse maximale possible ?



b) 2<sup>ème</sup> ordre

c)  $t_{1/2} = \frac{1}{[A]_0 k} = \frac{1}{1.2 \times 10^7 \times 10^{-4}} = 8.33 \times 10^{-4} \text{ s}$

d)  $v = \frac{k_{\text{cat}} [E]_0 [S]_0}{K_d + [S]_0} \approx k_{\text{cat}} [E]_0 = 27 \times 10^{-4} = 2.7 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$

$\uparrow$   $\uparrow$   
 $2.5 \times 10^{-7}$   $10^{-4}$

e)  $v_{\text{max}} = k_{\text{cat}} [E]_0 = 27 \times 10^{-6} = 2.7 \times 10^{-5} \text{ M s}^{-1}$

$v = \frac{k_{\text{cat}} [E]_0 [S]_0}{K_d + [S]_0} = v_{\text{max}} \left( \frac{[S]_0}{K_d + [S]_0} \right) = v_{\text{max}} \left( \frac{10^{-6}}{2.5 \times 10^{-7} + 10^{-6}} \right)$

$= 0.80 v_{\text{max}}$

$= 2.16 \times 10^{-5} \text{ M s}^{-1}$

Formules utiles:

$$\Delta U = n \int \bar{C}_v dT \approx n \bar{C}_v \Delta T$$

$$\Delta U = q + w$$

$$w = -p \Delta V$$

$$w = -nRT \ln(V_2/V_1)$$

$$\Delta S = nR \ln(V_2/V_1) + C_v \ln(T_2/T_1)$$

$$\Delta S = \Delta H / T$$

$$\gamma = \frac{\bar{C}_p}{\bar{C}_v}$$

$$\bar{C}_p = \bar{C}_v + R$$

$$pV^\gamma = \text{constant}$$

$$H = U + PV$$

$$G = H - TS$$

$$\ln(p_2/p_1) = -\frac{\Delta H}{R} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

$$\ln\left(\frac{K_2}{K_1}\right) = -\frac{\Delta H}{R} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

$$\ln K = -\Delta \bar{G}_0 / RT$$

$$\Delta \bar{G} = \Delta \bar{G}_0 + RT \ln Q$$

$$p_A = \gamma_A P_A \text{ (Raoult)}$$

$$p_i = p_i^0 X_i \text{ (liq)}$$

$$\Delta T = -\nu K_f m_B$$

$$I = \frac{1}{2} \sum c_i Z_i^2$$

$$\log_{10} \gamma_{\pm} = -0.510 |z_+ z_-| \sqrt{I}$$

Données

$$1 \text{ dm}^3 = 1 \text{ L}$$

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mm Hg} = 1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ L atm} = 101.27 \text{ J}$$

$$1 \text{ cal} = 4.184 \text{ J}$$

$$H_2O = 18 \text{ g mol}^{-1}$$

$$R = 0.0821 \text{ L atm mol}^{-1} \text{ K}^{-1} = 8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$F = 96485 \text{ C mol}^{-1}$$

$$c^{v_+ + v_-} = c_+^{v_+} c_-^{v_-}$$

$$a_{\pm} = \gamma_{\pm} c_{\pm}$$

$$\Delta \bar{G}_0 = -nFE^0$$

$$E = E^0 - (RT/nF) \ln Q$$

$$\ln [A] = \ln [A]_0 - kt$$

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k}$$

$$t_{1/2} = \frac{1}{k[A]_0}$$

$$k_1/k_{-1} = K_{eq}$$

$$k = Ae^{-E_a/RT}$$

$$v = \frac{k_{cat}[E]_0[S]_0}{K_d + [S]_0}$$