

Correction du DS 7

Exercice 1 : L'ammoniac : fabrication et application (20 pts)

1) Synthèse de l'ammoniac (4,5 pts) :

1.1. $\tau = \frac{x_f}{x_{\max}}$, avec x_f : avancement final de la réaction (lorsque l'état final d'équilibre est atteint)

et $x_{\max}$ l'avancement maximal (avancement si la transformation chimique est totale)

0,5 pt expression + 0,5 pt explications = 1 pt

1.2. $\tau < 1$, la réaction n'est donc pas totale, elle est limitée **(0,25 pt réponse + 0,25 pt justification) = 0,5 pt**

1.3. Équation de la réaction		$N_{2(g)} + 3 H_{2(g)} = 2 NH_{3(g)}$		
État	Avancement	n(N ₂) en mol	n(H ₂) en mol	n(NH ₃) en mol
Initial	0	$1,0 \cdot 10^2$	$3,0 \cdot 10^2$	0
En cours	x	$1,0 \cdot 10^2 - x$	$3,0 \cdot 10^2 - 3 \cdot x$	$2 \cdot x$
Final	x_f	$1,0 \cdot 10^2 - x_f$	$3,0 \cdot 10^2 - 3 \cdot x_f$	$2 \cdot x_f$

D'après le 1.1. on a $x_f = \tau \times x_{\max}$. Les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques, si la transformation est totale, ils sont totalement consommés, donc $x_{\max} = 1,0 \cdot 10^2$ mol. Il vient $x_f = 0,70 \times 1,0 \times 10^2 = 70$ mol. La composition finale du mélange est donc : **$n(N_2) = 1,0 \times 10^2 - 70 = 30$ mol $n(H_2) = 3,0 \times 10^2 - 3 \times 70 = 90$ mol $n(NH_3) = 2 \times 70 = 1,4 \times 10^2$ mol**

(0,75 pt tableau d'avancement (1 erreur – 0,5 pt) + 0,5 pt justification + 0,25*3 les valeurs) = 2 pts

1.4. La température est un facteur cinétique donc il accélère la réaction. Ainsi la vitesse de la réaction augmente

(0,25 pt réponse + 0,25 pt justification) = 0,5 pt

1.5. Le catalyseur permet également d'augmenter la vitesse de réaction **(0,5 pt réponse)**.

2. La solution aqueuse d'ammoniac (7, 5 pts) :

2.1. $n_0 = \frac{V}{V_m}$ donc $n_0 = \frac{2,4 \times 10^{-1}}{24,0} = 1,0 \times 10^{-2}$ mol d'ammoniac dissous initialement

0,5 pt la formule + 0,5 pt la valeur = 1 pt

2.2.1. Une base selon Bronsted est une espèce chimique capable de capter un proton H^+ **(0,5 pt définition)**.

2.2.2. $NH_{3(aq)} + H_2O_{(l)} = NH_4^+_{(aq)} + HO^-_{(aq)}$ **(0,5 pt l'équation)**

2.2.3. $n(HO^-_{(aq)})_{\text{éq}} = [HO^-_{(aq)}]_{\text{éq}} \times V_s$ D'autre part $K_e = [H_3O^+_{(aq)}]_{\text{éq}} \times [HO^-_{(aq)}]_{\text{éq}}$ et $[H_3O^+_{(aq)}]_{\text{éq}} = 10^{-pH}$

$$K_e = 10^{-pH} \times [HO^-_{(aq)}]_{\text{éq}} \quad \text{donc } [HO^-_{(aq)}]_{\text{éq}} = \frac{K_e}{10^{-pH}} \quad \text{Soit } n(HO^-_{(aq)}) = \frac{K_e}{10^{-pH}} \times V_s$$

$n(HO^-_{(aq)})_{\text{éq}} = \frac{1,0 \cdot 10^{-14}}{10^{-10,6}} \times 1,0 = 4,0 \times 10^{-4}$ mol présente dans la solution S **(0,5 pt la formule + 0,5 pt justification +**

0,5 pt la valeur) = 1,5 pts

2.2.4. Si la transformation chimique associée à la réaction dont l'équation a été écrite en 2.2.2. était totale, il se formerait $n_0 = 1,0 \times 10^{-2}$ mol d'anions hydroxyde. Or il ne s'en forme que $4,0 \times 10^{-4}$ mol. La réaction **n'est pas totale**, elle est très limitée **(0,5 pt justification + 0,5 pt réponse) = 1 pt**

2.3.1. $K = \frac{[HO^-_{(aq)}]_{\text{éq}} \cdot [NH_4^+_{(aq)}]_{\text{éq}}}{[NH_3(aq)]_{\text{éq}}}$ D'après l'équation chimique $[HO^-_{(aq)}]_{\text{éq}} = [NH_4^+_{(aq)}]_{\text{éq}}$ et d'après 2.2.3.

$$[HO^-_{(aq)}]_{\text{éq}} = \frac{K_e}{10^{-pH}} \quad \text{De plus } [NH_3(aq)]_{\text{éq}} = \frac{n_0 - n(HO^-)_{\text{éq}}}{V_s} = \frac{n_0 - \frac{K_e}{10^{-pH}} \cdot V_s}{V_s} = \frac{n_0}{V_s} - \frac{K_e}{10^{-pH}}$$

Il vient $K = \frac{\left(\frac{K_e}{10^{-pH}}\right)^2}{\frac{n_0}{V_s} - \frac{K_e}{10^{-pH}}}$ $K = \frac{\left(\frac{1,0 \cdot 10^{-14}}{10^{-10,6}}\right)^2}{\frac{1,0 \times 10^{-2}}{1,0} - \frac{1,0 \cdot 10^{-14}}{10^{-10,6}}} = \frac{(10^{-3,4})^2}{1,0 \times 10^{-2} - 10^{-3,4}} = 1,7 \times 10^{-5}$

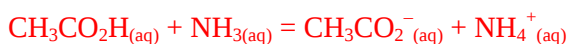
(0,25 pt expression de K + 0,5 pt expression final de K + 0,75 pt valeur de K)=1,5 pts

2.3.2. $NH_4^+_{(aq)} + H_2O_{(l)} = NH_{3(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$ $K_a = \frac{[NH_{3(aq)}]_{\text{éq}} \cdot [H_3O^+_{(aq)}]_{\text{éq}}}{[NH_4^+_{(aq)}]_{\text{éq}}}$, en multipliant K_a par $\frac{[HO^-_{(aq)}]_{\text{éq}}}{[HO^-_{(aq)}]_{\text{éq}}}$

$K_a = \frac{[NH_{3(aq)}]_{\text{éq}} \cdot [H_3O^+_{(aq)}]_{\text{éq}} \cdot [HO^-_{(aq)}]_{\text{éq}}}{[NH_4^+_{(aq)}]_{\text{éq}} \cdot [HO^-_{(aq)}]_{\text{éq}}} = \frac{K_e}{K} \quad K_a = \frac{1,0 \cdot 10^{-14}}{1,7 \times 10^{-5}} = 6,1 \times 10^{-10}$

(0,5 pt l'équation + 0,25 pt expression de K_a + 0,25 pt expression de K_a avec K_e et K + 0,5 pt valeur de K_a)=1,5 pts

3. Étude d'un mélange d'acide éthanóïque et d'une solution aqueuse d'ammoniac (8 pts)



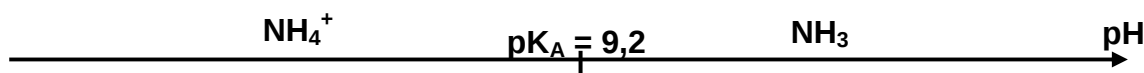
3.1.1. $Q_{r,\text{éq}} = \frac{[NH_4^+_{(aq)}]_{\text{éq}} \cdot [CH_3CO_2^-_{(aq)}]_{\text{éq}}}{[NH_{3(aq)}]_{\text{éq}} \cdot [CH_3CO_2H_{(aq)}]_{\text{éq}}}$ en multipliant par $\frac{[H_3O^+_{(aq)}]_{\text{éq}}}{[H_3O^+_{(aq)}]_{\text{éq}}}$

$Q_{r,\text{éq}} = \frac{[NH_4^+_{(aq)}]_{\text{éq}} \cdot [CH_3CO_2^-_{(aq)}]_{\text{éq}} \cdot [H_3O^+_{(aq)}]_{\text{éq}}}{[NH_{3(aq)}]_{\text{éq}} \cdot [H_3O^+_{(aq)}]_{\text{éq}} \cdot [CH_3CO_2H_{(aq)}]_{\text{éq}}} = \frac{K_{A(CH_3CO_2H/CH_3CO_2^-)}}{K_{A(NH_4^+/NH_3)}} = \frac{10^{-pK_{A(CH_3CO_2H/CH_3CO_2^-)}}}{10^{-pK_{A(NH_4^+/NH_3)}}}$

$Q_{r,\text{éq}} = \frac{10^{-4,8}}{10^{-9,2}} = 10^{4,4} = 2,5 \times 10^4$ (0,5 pt expression de $Q_{r,\text{éq}}$ + 0,5 pt expression détaillé avec les 2 K_a + 0,5 pt la valeur de $Q_{r,\text{éq}}$)=1,5 pts

3.1.2. Dans l'état initial, on néglige la présence des ions $CH_3CO_2^-$ et NH_4^+ , il n'y a donc pas de produits encore formés. $Q_{r,i} = 0$ $Q_{r,i} < Q_{r,\text{éq}}$ Le système va évoluer dans le sens direct de la réaction (0,5 pt réponse + 0,5 pt justification)=1 pt

3.2.1.



1pt le diagramme de prédominance (ou juste ou tout faux)

3.2.2. Le pH du mélange est de 9,2 soit égal au pK_A du couple considéré. On a alors : $[NH_3]_{\text{éq}} = [NH_4^+]_{\text{éq}}$ (0,5 pt justification + 0,5 pt conclusion)= 1 pt

3.3. D'après l'équation, il se forme une mole d'ions éthanóate pour une mole d'ions ammonium, on a donc :

$[NH_4^+]_{\text{éq}} = [CH_3CO_2^-]_{\text{éq}}$ (0,25 pt réponse + 0,25 pt justification) = 0,5 pt

3.4.1. D'après 3.2.2. $[NH_3]_{\text{éq}} = [NH_4^+]_{\text{éq}}$ et d'après 3.3. $[NH_4^+]_{\text{éq}} = [CH_3CO_2^-]_{\text{éq}}$, enfin le texte indique $[NH_4^+]_{\text{éq}} = 7,1 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$. Soit $[NH_3]_{\text{éq}} = [NH_4^+]_{\text{éq}} = [CH_3CO_2^-]_{\text{éq}} = 7,1 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ donc $n(NH_3)_{\text{éq}} = n(NH_4^+)_{\text{éq}} = n(CH_3CO_2^-)_{\text{éq}}$. Le volume de la solution est $V_A + V_B$, alors $n(NH_3)_{\text{éq}} = n(NH_4^+)_{\text{éq}} = n(CH_3CO_2^-)_{\text{éq}} = [NH_4^+]_{\text{éq}} \cdot (V_A + V_B)$
 $n(NH_3)_{\text{éq}} = n(NH_4^+)_{\text{éq}} = n(CH_3CO_2^-)_{\text{éq}} = 7,1 \cdot 10^{-2} \times 140,0 \times 10^{-3} = 9,9 \times 10^{-3} \text{ mol}$

équation chimique (1)		$CH_3CO_2H_{(aq)} + NH_{3(aq)} = CH_3CO_2^-_{(aq)} + NH_4^+_{(aq)}$			
État du système	Avancement (mol)	Quantités de matière (mol)			
État initial	$x = 0$	$n(CH_3CO_2H)_{\text{ini}} = C_A \cdot V_A$	$n(NH_3)_{\text{ini}} = C_B \cdot V_B$	0	0
En cours de transformation	x	$C_A \cdot V_A - x$	$C_B \cdot V_B - x$	x	x

État final	x_f	$n(\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H})_{\text{éq}} = c_A \cdot V_A - x_{\text{éq}}$	$n(\text{NH}_3)_{\text{éq}} = c_B \cdot V_B - x_{\text{éq}}$	$n(\text{CH}_3\text{CO}_2^-)_{\text{éq}} = x_{\text{éq}}$	$n(\text{NH}_4^+)_{\text{éq}} = [\text{NH}_4^+]_{\text{éq}} \cdot (V_A + V_B) = x_{\text{éq}}$
État final si totale	x_{max}	$c_A \cdot V_A - x_{\text{max}}$	$c_B \cdot V_B - x_{\text{max}}$	x_{max}	x_{max}

$$n(\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H})_{\text{éq}} = n(\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H})_{\text{ini}} - n(\text{NH}_4^+)_{\text{éq}} = c_A \cdot V_A - [\text{NH}_4^+]_{\text{éq}} \cdot (V_A + V_B)$$

$$n(\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H})_{\text{éq}} = 1,0 \cdot 10^{-1} \times 0,1000 - 7,1 \times 10^{-2} \times 140,0 \times 10^{-3} = 0,010 - 0,00994$$

$$n(\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H})_{\text{éq}} = 6,0 \times 10^{-5} \text{ mol}$$

0,25 par valeur * 4 + 0,5 pt les égalités + 0,5 pt justification = 2 pts

$$3.4.2. n(\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H})_{\text{ini}} - x_{\text{éq}} = n(\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H})_{\text{éq}}$$

$$x_{\text{éq}} = n(\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H})_{\text{ini}} - n(\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H})_{\text{éq}} = 1,0 \cdot 10^{-1} \times 0,1000 - 6,0 \times 10^{-5} \approx 1,0 \cdot 10^{-2}$$

$$x_{\text{éq}} \approx n(\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H})_{\text{ini}}$$

L'acide éthanoïque est totalement consommé, on peut considérer la réaction comme totale.

(0,25 pt justification + 0,5 pt calcul + 0,25 pt conclusion) = 1 pt

3.4.1. autre méthode pour accéder à $n(\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H})_{\text{éq}}$:

$$K = \frac{[\text{NH}_4^+]_{\text{éq}} \cdot [\text{CH}_3\text{CO}_2^-]_{\text{éq}}}{[\text{NH}_3]_{\text{éq}} \cdot [\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}]_{\text{éq}}}$$

D'après 3.2.2. $[\text{NH}_3]_{\text{éq}} = [\text{NH}_4^+]_{\text{éq}}$ et $[\text{NH}_4^+]_{\text{éq}} = [\text{CH}_3\text{CO}_2^-]_{\text{éq}}$

$$K = \frac{[\text{NH}_4^+]_{\text{éq}}^2}{[\text{NH}_4^+]_{\text{éq}} \cdot [\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}]_{\text{éq}}} = \frac{[\text{NH}_4^+]_{\text{éq}}}{[\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}]_{\text{éq}}} \quad \text{soit } [\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}]_{\text{éq}} = \frac{[\text{NH}_4^+]_{\text{éq}}}{K}$$

$$\frac{n(\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H})_{\text{éq}}}{V_A + V_B} = \frac{[\text{NH}_4^+]_{\text{éq}}}{K}$$

$$n(\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H})_{\text{éq}} = \frac{[\text{NH}_4^+]_{\text{éq}}}{K} \cdot (V_A + V_B)$$

D'après l'énoncé $[\text{NH}_4^+]_{\text{éq}} = 7,1 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ et d'après 3.1.1. $K = 10^{4,4}$

$$n(\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H})_{\text{éq}} = \frac{7,1 \cdot 10^{-2}}{10^{4,4}} \times (100,0 + 40,0) \times 10^{-3}$$

$n(\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H})_{\text{éq}} = 3,957 \cdot 10^{-7} \text{ mol} = 4,0 \cdot 10^{-7} \text{ mol}$ légèrement différent mais ne change en rien dans la suite et pour la dernière question.

Exercice 2 : Observation des satellites de Neptune par la sonde voyager 2 (12 pts)

1) Le Mouvement des satellites (6 pts)

1.1. L'orbite de Néréide est décrite dans le référentiel **neptunocentrique** (réponse c.) (0,5 pt réponse)

1.2. Première loi de Kepler : le satellite Néréide décrit une **orbite elliptique** dont Neptune occupe l'un des foyers.

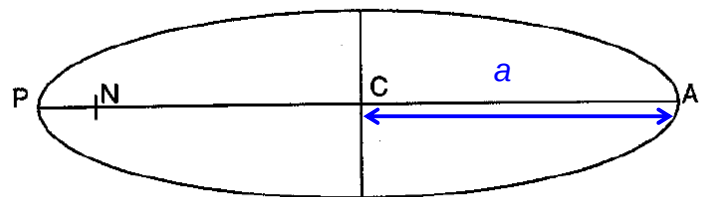
Deuxième loi de Kepler : le segment reliant Neptune et Néréide balaye des aires égales pendant des durées égales

(0,5 pt par loi) * 2 = 1 pt

1.3. Demi-longueur a du grand axe de l'orbite de

Néréide : (0,5 pt représentation de a)

1.4.1. D'après la seconde loi de Kepler, l'aire de la surface formée par les points N, P₁ et P₂ est égale à l'aire de la surface formée par les points N, A₁ et A₂ (en vert). (0,5 pt réponse)



1.4.2. Les portions d'orbite P₁P₂ et A₁A₂ sont parcourues pendant la même durée Δt . Les vitesses (moyennes) de Néréide au péricentre v_P et à l'apocentre v_A sont respectivement : $v_P = \frac{P_1 P_2}{\Delta t}$ et $v_A = \frac{A_1 A_2}{\Delta t}$ Or $P_1 P_2 > A_1 A_2$ et Δt est constante donc v_P

$> v_A$ (0,5 pt justification + 0,5 pt réponse) = 1 pt La vitesse de Néréide est plus grande au périhélie qu'à l'aphélie de l'orbite elliptique.

1.5.1. Troisième loi de Kepler : le carré de la période de révolution T_{ner} de Néréide autour de Neptune est proportionnel au cube du

demi grand axe a : $\boxed{\frac{T_{ner}^2}{a^3} = Cte = \frac{4\pi^2}{G.M_N}}$ **(0,5 pt relation avec énoncé de la loi)**

1.5.2. $\frac{T_{rev}^2}{R_1^3} = \frac{(5,877 \times 86400)^2}{(3,547 \times 10^5 \times 10^3)^3} = 5,778 \times 10^{-15} \text{ s}^2 \cdot \text{m}^{-3}$ en ayant converti T en s et R_1 en m **(0,5 pt la valeur)**

1.5.3. Triton comme Néréide satisfait à la troisième loi de Kepler mais pour une orbite circulaire de rayon R_1 . On a ainsi :

$$\frac{T_{ner}^2}{a^3} = Cte = \frac{T_{rev}^2}{R_1^3} \Leftrightarrow T_{ner}^2 = T_{rev}^2 \cdot \frac{a^3}{R_1^3} \Leftrightarrow \boxed{T_{ner} = T_{rev} \cdot \left(\frac{a}{R_1}\right)^{3/2}}$$
 En laissant T_{rev} en jours solaires, a et R_1 en km, il

vient : $T_{ner} = 5,877 \times \left(\frac{5513 \times 10^3}{3,547 \times 10^5}\right)^{3/2} = 360,1 \text{ jours solaires.}$

Le texte indique que Néréide met 360 jours pour boucler son orbite, cette valeur est bien cohérente la période de révolution de Néréide calculée **(0,5 pt formule littérale + 0,5 pt la valeur + 0,5 pt la conclusion)=1,5 pts**

2) Le mouvement de Triton

2.1. Force gravitationnelle exercée par Neptune sur Triton : $\boxed{\vec{F} = -\frac{G.M_1.M_N}{R_1^2} \cdot \vec{u}}$

Valeur : $F = \frac{G.M_1.M_N}{R_1^2} = \frac{6,67 \times 10^{-11} \times 2,147 \times 10^{22} \times 1,025 \times 10^{26}}{(3,547 \times 10^5 \times 10^3)^2} = 1,17 \times 10^{21} \text{ N}$ avec R_1 en m.

(0,5 pt la formule + 0,5 pt la valeur)= 1pt

2.2. La deuxième loi de Newton appliquée à Triton dans le référentiel neptunocentrique donne : $\vec{F} = M_1 \cdot \vec{a} \Leftrightarrow$

$$-\frac{G.M_1.M_N}{R_1^2} \cdot \vec{u} = M_1 \cdot \vec{a} \Leftrightarrow \vec{a} = -\frac{G.M_N}{R_1^2} \vec{u} \quad \text{La norme du vecteur accélération s'écrit alors : } a = \frac{G.M_N}{R_1^2}$$

Le mouvement de Triton étant **circulaire et uniforme**, la norme du vecteur accélération s'écrit : $a = \frac{V^2}{R_1}$.

En égalant les deux expressions, il vient : $\frac{V^2}{R_1} = \frac{G.M_N}{R_1^2} \Leftrightarrow V^2 = \frac{G.M_N}{R_1}$

Finalement : $\boxed{V = \sqrt{\frac{G.M_N}{R_1}}}$ **(0,5 pt démonstration détaillée + 0,5 pt la valeur) = 1 pt**

2.3. $V = \sqrt{\frac{6,67 \times 10^{-11} \times 1,025 \times 10^{26}}{3,547 \times 10^8}} = 4,39 \times 10^3 \text{ m.s}^{-1} = 4,39 \text{ km.s}^{-1}$

L'énoncé indique une vitesse orbitale de 4 km.s⁻¹ (1 chiffre significatif), ce qui compte tenu de cette précision est cohérent. **(0,25 pt calcul détaillé 0,5 pt la valeur + 0,25 pt comparaison)=1pt**

2.4. Triton parcourt son orbite de longueur $2 \cdot \pi \cdot R_1$ pendant la durée T_{rev} . La vitesse de Triton s'écrit alors : $V = \frac{2 \cdot \pi \cdot R_1}{T_{rev}}$.

En égalant les deux expressions de V , il vient : $\frac{2 \cdot \pi \cdot R_1}{T_{rev}} = V = \sqrt{\frac{G.M_N}{R_1}}$

En élevant au carré : $\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot R_1^2}{T_{rev}^2} = \frac{G.M_N}{R_1} \Leftrightarrow T_{rev}^2 = \frac{4 \pi^2 R_1^3}{G.M_N} \Leftrightarrow T_{rev} = \sqrt{\frac{4 \pi^2 R_1^3}{G.M_N}}$

Finalelement : $T_{\text{rev}} = 2\pi\sqrt{\frac{R_1^3}{G.M_N}}$ (1 pt la démonstration +0,5 pt formule)=1,5 pt

$$2.5. T_{\text{rev}} = 2.\pi.\sqrt{\frac{(3,547 \times 10^8)^3}{6,67 \times 10^{-11} \times 1,025 \times 10^{26}}} = 5,08 \times 10^5 \text{ s}$$

En divisant la valeur non arrondie par 86400 s, on obtient $T_{\text{rev}} = 5,87$ jours solaires.
Valeur cohérente avec celle donnée dans l'énoncé : $T_{\text{rev}} = 5,877$ jours solaires.

(0,5 pt calcul détaillé +0,5 pt la valeur +0,5 pt conclusion)=1,5 pt

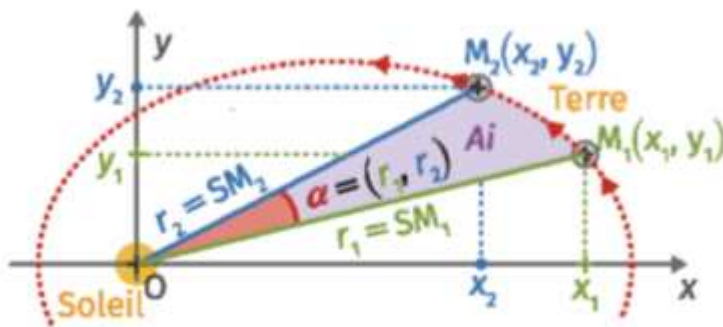
Exercice 2 : Gravitation et programmation numérique en python (8 pts)

1°) Le référentiel héliocentrique est le référentiel le plus adapté pour étudier le mouvement des planètes autour du Soleil. Son origine est le centre de gravité du Soleil. Les trois axes sont choisis en direction de trois étoiles lointaines considérées comme fixes le temps de l'étude (0,5 pt le référentiel + 0,5 pt les caractéristiques)= 1pt

2°) Dans l'extrait du code python proposé on calcule la surface A entre deux positions successives de la Terre, M1 et M2, suivant la méthode suivante :

- ligne 13 et 14 : calcul de la distance r_i entre chaque point M_i et le Soleil et à l'aide de leurs coordonnées héliocentriques et ce pour les points i et $i-1$;
- ligne 15 : calcul de la surface A comprise entre les deux rayons vecteurs r_1 et r_2 centrés sur le Soleil suivant la formule où α est l'angle compris entre deux rayons vecteurs r_1 et r_2 .

(0,5 pt par ligne + 0,5 pt par fonction)*2=2 pts



$$3^\circ) \frac{T_{\text{Mercure}}^2}{a_{\text{Mercure}}^3} = \frac{T_{\text{Terre}}^2}{a_{\text{Terre}}^3} \text{ soit } \frac{87,9^2}{0,39^3} = 1,3 \times 10^5 \text{ J}^2 \times \text{ua}^{-3} \text{ et } \frac{365,25^2}{1,00^3} = 1,33 \times 10^5 \text{ J}^2 \times \text{ua}^{-3} \text{ (0,5 pt formule littérale + 1 pt$$

chaque calcul = 2,5 pts

4°) La Formule littérale complète de la troisième loi de Kepler s'écrit avec le soleil comme attracteur :

$$\frac{T^2}{a^3} = \frac{4 \times \pi^2}{G \times M_{\text{Soleil}}} \text{ d'où } M_{\text{soleil}} = \frac{4 \times \pi^2 \times a^3}{G \times T^2} \text{ soit en prenant par exemple les données sur Mercure}$$

$$M_{\text{soleil}} = \frac{4 \times \pi^2 \times (0,39 \times 1,5 \times 10^{11})^3}{6,67 \times 10^{-11} \times (87,9 \times 24 \times 3600)^2} = 2,0 \cdot 10^{30} \text{ kg (1 pt formule complète de la troisième loi de Kepler +$$

0,5 pt formule de Msoleil + 1 pt la valeur de MSoleil)=2,5 pts