

Correction du TD 4 : Évolution d'un système chimique vers un état final

Exercice 1 : Quelques transformations

1. a. FAUX : Ces 2 synthèses de l'eau sont des transformations chimiques.

1. b. FAUX : Il ne s'agit pas d'une transformation nucléaire car les noyaux ne sont pas modifiés. C'est une transformation chimique.

1. c. VRAI, cette transformation nucléaire a pour équation ${}^2_1\text{H} + {}^6_3\text{Li} = 2 {}^4_2\text{He}$

1. d. FAUX : La première transformation, d'équation $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}(s) = \text{Na}_2\text{SO}_4(s) + 10 \text{H}_2\text{O}(\ell)$, est une transformation chimique. La deuxième transformation cependant est bien une transformation physique, d'équation : $\text{Na}_2\text{SO}_4(s) = \text{Na}_2\text{SO}_4(\ell)$.

1. e. VRAI : La transformation est modélisée par la réaction d'équation $2 \text{Al}(s) + \frac{3}{2} \text{O}_2(g) = \text{Al}_2\text{O}_3(s)$. Le réactif limitant est l'aluminium car l'air est en excès. L'avancement maximal vaut : $\xi_{\max} = \frac{n_{\max}}{2} = \frac{m_{\text{Al}}}{2M_{\text{Al}}} = 0,25 \text{ mol}$. L'avancement final vaut bien l'avancement maximal, donc la réaction est totale.

2. Il y a un trou dans la couche d'ozone, donc la quantité d'ozone diminue : c'est donc un réactif. Les courbes de variation du mercure suivent celles de l'ozone, donc c'est aussi un réactif. Les courbes de l'oxyde mercurique sont en anti-corrélation, donc c'est un produit. En équilibrant, on obtient l'équation : $\frac{1}{3} \text{O}_3(g) + \text{Hg}(g) = \text{HgO}(s)$

Exercice 2 : Diagramme de phases du soufre

1. 1 : liquide, 2 : gaz

2. 3 points triples :

- $\{T = 119 \text{ °C} ; P = 10^{-4} \text{ atm}\}$ (liquide-gaz-monoclinique)
- $\{T = 95,4 \text{ °C} ; P = 10^{-5} \text{ atm}\}$ (gaz-monoclinique-orthorhombique)
- $\{T = 154 \text{ °C} ; P = 1288 \text{ atm}\}$ (liquide-orthorhombique-monoclinique)

3. A $P = 1 \text{ atm}$ et $T = 40 \text{ °C}$, le soufre est solide (forme orthorhombique). Lorsqu'on augmente la température à pression constante, on se déplace horizontalement dans le diagramme (P,T). On observe dans l'ordre : une transition allotropique (le soufre passe de solide orthorhombique à solide monoclinique), la fusion de soufre, et la vaporisation du soufre.

4. A $P = 1 \text{ atm}$ et $T = 100 \text{ °C}$, le soufre est solide (forme monoclinique). En baissant la pression à température constante, on se déplace verticalement dans le diagramme (P,T) : le soufre se sublime.

Exercice 4 : Chlorure d'ammonium

On commence toujours par faire un tableau d'avancement. On est dans une réaction à volume constant, on peut donc utiliser l'avancement volumique x .

(en mol/L)	$\text{NH}_4^+(aq)$	+	$\text{H}_2\text{O}(\ell)$	=	$\text{NH}_3(aq)$	+	$\text{H}_3\text{O}^+(aq)$
EI	C_0		-		0		0
En cours	$C_0 - x$		-		x		x
EF	$C_0 - x_f$		-		x_f		x_f

$Q_{r,i} = \frac{[\text{NH}_3]_i [\text{H}_3\text{O}^+]_i}{[\text{NH}_4^+]_i C^\circ} = 0 < K^\circ$ donc la réaction évolue dans le sens direct.

La réaction ayant lieu en solution aqueuse, l'état final est nécessairement un état d'équilibre.

On peut alors appliquer la relation de Guldberg et Waage : $Q_{r,eq} = K^\circ$, soit :

$$K^\circ = \frac{[\text{NH}_3]_{eq} [\text{H}_3\text{O}^+]_{eq}}{[\text{NH}_4^+]_{eq} C^\circ} = \frac{x_f^2}{(C_0 - x_f) C^\circ}$$

Hypothèse : $K^\circ < 10^{-4}$, donc on peut faire une hypothèse de faible avancement : $x_f \ll C_0$.

On peut alors simplifier l'équation :

$$K^\circ \simeq \frac{x_f^2}{C_0 C^\circ}$$

$$\Leftrightarrow x_f = \sqrt{K^\circ C_0 C^\circ} = \sqrt{10^{-9,8} \times 2,0 \cdot 10^{-3} \times 1} = 5,6 \cdot 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

On a bien $x_f \ll C_0$ donc **l'hypothèse est cohérente**. On a à l'équilibre :

$$[\text{NH}_3]_{eq} = [\text{H}_3\text{O}^+]_{eq} = x_f = 5,6 \cdot 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$[\text{NH}_4^+]_{eq} = C_0 - x_f \simeq C_0 = 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

Exercice 5 : Dissolution de la silice

1. On est en présence d'un système hétérogène, on va donc utiliser un avancement ξ en quantité de matière.

Le quotient réactionnel a pour expression :

$$Q_r = \frac{[\text{H}_4\text{SiO}_4]}{C^\circ}$$

A l'instant initial, on n'a pas introduit de H_4SiO_4 , donc $Q_{r,0} = 0 < K^\circ$: Le système évolue dans le sens direct.

Etablissons un tableau d'avancement :

(en mol)	$\text{SiO}_2(s)$	+ $2\text{H}_2\text{O}(\ell)$	=	$\text{H}_4\text{SiO}_4(aq)$
Etat initial	$1,0 \cdot 10^{-2}$	<i>solvant</i>		0
En cours	$1,0 \cdot 10^{-2} - \xi$	<i>solvant</i>		ξ
Etat final	$1,0 \cdot 10^{-2} - \xi_{eq}$	<i>solvant</i>		ξ_{eq}

Supposons que l'état final soit un état d'équilibre. On peut alors appliquer la relation de Guldberg et Waage :

$$Q_{r,eq} = K^\circ \quad \text{soit} \quad \frac{\xi_{eq}}{VC^\circ} = K^\circ$$

On en déduit $\xi_{eq} = 10^{-2,7} \text{ mol}$. On a $\xi_{eq} < \xi_{max}$ donc il s'agit bien d'un état d'équilibre.

Composition du système à l'état final :

$$n_{\text{H}_4\text{SiO}_4,eq} = 10^{-2,7} \text{ mol} = 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$n_{\text{SiO}_2,eq} = 8,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

2. Le début de la résolution est identique au cas précédent. On en déduit $\xi_{eq} = 10^{-2,7} \text{ mol}$ mais cette fois-ci, $\xi_{eq} > \xi_{max}$ donc il y a rupture d'équilibre. On a alors une réaction totale, le réactif limitant a été entièrement consommé, et $\xi_f = \xi_{max} = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$.

Composition du système à l'état final :

$$n_{\text{H}_4\text{SiO}_4,f} = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$$

$$n_{\text{SiO}_2,f} = 0 \text{ mol}$$

Exercice 6 : Fluoration du dioxyde d'uranium

1. On écrit le tableau d'avancement :

(en mol)	$\text{UO}_2(s)$	+ $4 \text{HF}(g)$	=	$\text{UF}_4(s)$	+ $2 \text{H}_2\text{O}(g)$	$n_{tot,gaz}$
Etat initial	1,0	1,0		0	0	1,0
En cours	$1,0 - \xi$	$1,0 - 4\xi$		ξ	2ξ	$1,0 - 2\xi$
Etat final	$1,0 - \xi_{eq}$	$1,0 - 4\xi_{eq}$		ξ_{eq}	$2\xi_{eq}$	$1,0 - 2\xi_{eq}$

On fait l'hypothèse que l'équilibre est atteint et on écrit le quotient réactionnel :

$$Qr = \frac{\left(\frac{P_{H_2O}}{P^\circ}\right)^2}{\left(\frac{P_{HF}}{P^\circ}\right)^4} = \frac{P_{H_2O}^2 \cdot P^{\circ 2}}{P_{HF}^4} = \frac{x_{H_2O}^2 \cdot P_{tot}^2 \cdot P^{\circ 2}}{x_{HF}^4 \cdot P_{tot}^4} = \frac{x_{H_2O}^2 \cdot P^{\circ 2}}{x_{HF}^4 \cdot P_{tot}^2}$$

On peut exprimer les x_i en fonction de $n_{tot,eq}$ d'après la définition des fractions molaires.

On peut alors simplifier le quotient réactionnel :

$$Qr = \frac{x_{H_2O}^2 \cdot P^{\circ 2}}{x_{HF}^4 \cdot P_{tot}^2} = \frac{\frac{n_{H_2O}^2}{n_{tot}^2} \cdot P^{\circ 2}}{\frac{n_{HF}^4}{n_{tot}^4} \cdot P_{tot}^2} = \frac{n_{H_2O}^2 \cdot n_{tot}^2 \cdot P^{\circ 2}}{n_{HF}^4 \cdot P_{tot}^2}$$

On applique la relation de Guldberg et Waage : $Q_{r,eq} = K^\circ$, soit :

$$\frac{n_{H_2O}^2 \cdot n_{tot}^2 \cdot P^{\circ 2}}{n_{HF}^4 \cdot P_{tot}^2} = K^\circ$$

Exprimons les quantités de matière en fonction de l'avancement grâce au tableau d'avancement :

$$\frac{2\xi_{eq}^2 \cdot (1,0 - 2\xi_{eq})^2 \cdot P^{\circ 2}}{(1,0 - 4\xi_{eq})^4 \cdot P_{tot}^2} = K^\circ$$

$$\frac{2\xi_{eq} \cdot (1,0 - 2\xi_{eq}) \cdot P^\circ}{(1,0 - 4\xi_{eq})^2 \cdot P_{tot}} = \sqrt{K^\circ}$$

On peut simplifier P° et P_{tot} car elles sont égales et valent toutes les deux 1 bar. On développe l'équation :

$$2\xi_{eq} - 4\xi_{eq}^2 = \sqrt{K^\circ}(1,0 - 8\xi_{eq} + 16\xi_{eq}^2)$$

$$\xi_{eq}^2(16\sqrt{K^\circ} - 4) + \xi_{eq}(-8\sqrt{K^\circ} - 2) + \sqrt{K^\circ} = 0$$

On reconnaît une équation du second degré de la forme $a\xi_{eq}^2 + b\xi_{eq} + c = 0$ avec $a = 4,18 \cdot 10^3$, $b = -2,09 \cdot 10^3$ et $c = 2,61 \cdot 10^2$ qu'on peut résoudre à la calculatrice pour trouver les racines :

$$\xi_1 = 0,258 \text{ et } \xi_2 = 0,242$$

La première racine conduirait à une quantité de matière négative de HF à l'équilibre, elle est donc impossible.

On a $\xi_{eq} = 0,242$, ce qui nous permet de calculer les quantités de matière à l'équilibre.

À l'équilibre, on a donc : 0,758 mol de UO_2 (s), 0,032 mol de HF (g), 0,242 mol de UF_4 et 0,484 mol d'eau (g).

Remarque : ici, l'équilibre est moyennement déplacé, on ne pouvait donc pas simplifier l'équation.

2. En partant de 0,1 mol de dioxyde d'uranium UO_2 et de 1,0 mol de fluorure d'hydrogène HF, l'expression de quotient réactionnel est inchangée parce que l'activité du dioxyde d'uranium (solide) est égale à 1.

On arrive donc à la même équation du second degré et aux mêmes racines.

$$\xi_1 = 0,258 \text{ et } \xi_2 = 0,242$$

Or, dans ce cas, on constate que les deux racines conduisent à une quantité de matière négative pour le réactif UO_2 . Tout le réactif UO_2 a donc été consommé avant qu'on atteigne l'équilibre et on est donc dans le cas d'une **rupture d'équilibre** (une des phases condensées pures, ici UO_2 solide, ayant disparu).

On a donc $\xi_f = \xi_{max} = n_{UO_2}$.

On peut alors calculer les quantités de matière dans l'état final (qui n'est pas un état d'équilibre) : 0 mol de UO_2 (réactif limitant), 0,6 mol de HF (g), 0,1 mol de UF_4 (s) et 0,2 mol d'eau (g).

Exercice 8 : Transformation de l'adénosine diphosphate

1. Etablissons un tableau d'avancement :

(en mol)	$2\text{ADP}^{3-}(\text{aq})$	$=$	$\text{ATP}^{4-}(\text{aq})$	$+$	$\text{AMP}^{2-}(\text{aq})$
État initial	1,0		0		0
En cours	$1,0 - 2\xi$		ξ		ξ
État final	$1,0 - 2\xi_{\text{eq}}$		ξ_{eq}		ξ_{eq}

La réaction ayant lieu en solution aqueuse, l'état final est nécessairement un état d'équilibre. On peut alors appliquer la relation de Guldberg et Waage : $Q_{r,\text{eq}} = K^\circ$, soit :

$$K^\circ = \frac{[\text{ATP}^{4-}]_{\text{eq}}[\text{AMP}^{2-}]_{\text{eq}}}{[\text{ADP}^{3-}]_{\text{eq}}^2} = \frac{\left(\frac{\xi_{\text{eq}}}{V}\right)^2}{\left(\frac{1,0 - 2\xi_{\text{eq}}}{V}\right)^2} = \frac{\xi_{\text{eq}}^2}{(1,0 - 2\xi_{\text{eq}})^2}$$

A l'équilibre, il subsiste 0,10 mol d' ADP^{3-} , donc $1,0 - 2\xi_{\text{eq}} = 0,1 \Rightarrow \xi_{\text{eq}} = 0,45 \text{ mol}$.

Application numérique : $K^\circ = 20,25$.

2. Supposons l'équilibre réalisé : $Q_r = Q_{r,\text{eq}} = K^\circ$. Si l' ATP^{4-} est éliminé au fur et à mesure de sa formation, alors le quotient réactionnel est modifié de telle sorte que $Q_r < K^\circ$. L'équilibre est donc déplacé dans le sens direct de formation de l' ATP^{4-} .

Remarque : Ce résultat est généralisable. Un équilibre est déplacé dans le sens de formation du produit si un réactif est introduit en large excès (en général le moins cher) ou si l'on élimine un (le) produit au fur et à mesure qu'il se forme.

Soit un système tel qu'initialement : $[\text{ADP}^{3-}]_0 = [\text{ATP}^{4-}]_0 = [\text{AMP}^{2-}]_0 = 4,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

3. Calculons le quotient réactionnel à l'état initial :

$$Q_{r,0} = \frac{[\text{ATP}^{4-}]_0[\text{AMP}^{2-}]_0}{[\text{ADP}^{3-}]_0^2} = 1$$

On trouve $Q_{r,0} < K^\circ$ donc le système évolue dans le sens direct.

Tableau d'avancement en concentration :

(en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)	$2\text{ADP}^{3-}(\text{aq})$	$=$	$\text{ATP}^{4-}(\text{aq})$	$+$	$\text{AMP}^{2-}(\text{aq})$
Etat initial	$4,0 \cdot 10^{-3}$		$4,0 \cdot 10^{-3}$		$4,0 \cdot 10^{-3}$
En cours	$4,0 \cdot 10^{-3} - 2x$		$4,0 \cdot 10^{-3} + x$		$4,0 \cdot 10^{-3} + x$
Etat final	$4,0 \cdot 10^{-3} - 2x_{\text{eq}}$		$4,0 \cdot 10^{-3} + x_{\text{eq}}$		$4,0 \cdot 10^{-3} + x_{\text{eq}}$

D'après la relation de Guldberg et Waage :

$$K^\circ = \frac{[\text{ATP}^{4-}]_{\text{eq}}[\text{AMP}^{2-}]_{\text{eq}}}{[\text{ADP}^{3-}]_{\text{eq}}^2} = \frac{(4,0 \cdot 10^{-3} + x_{\text{eq}})^2}{(4,0 \cdot 10^{-3} - 2x_{\text{eq}})^2}$$

K° n'est ni très grande, ni très faible, donc on ne peut pas faire d'hypothèse particulière, il faut résoudre l'équation. La résolution (manuelle ou à la calculatrice) conduit à $x_{\text{eq}} = 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. On en déduit la composition du système à l'équilibre :

$$[\text{ATP}^{4-}]_{\text{eq}} = [\text{AMP}^{2-}]_{\text{eq}} = 5,4 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

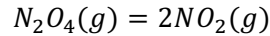
$$[\text{ADP}^{3-}]_{\text{eq}} = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$\tau = \frac{x_{\text{eq}}}{x_{\text{max}}} = \frac{1,4 \cdot 10^{-3}}{2,0 \cdot 10^{-3}} = 0,7 = 70\%$$

4. L'absence d'enzyme n'aura aucune conséquence sur le rendement. En revanche, l'état final sera atteint au bout d'un temps (beaucoup) plus long.

Exercice 7 : Équilibre en phase gazeuse

1. On s'intéresse à la réaction :



On cherche à déterminer l'avancement finale de la réaction. On commence par exprimer le quotient réactionnel pour savoir dans quel sens évolue la réaction :

$$Q_r = \frac{\left(\frac{P_{NO_2}}{P^\circ}\right)^2}{\frac{P_{N_2O_4}}{P^\circ}} = \frac{P_{NO_2}^2}{P_{N_2O_4} P^\circ}$$

À l'état initial, $Q_{r,i} = 0$ donc le système évolue dans le sens direct. Établisons un tableau d'avancement pour déterminer la composition du système à l'équilibre : (dans l'énoncé il est noté ξ_f mais il est plus pertinent d'utiliser ξ_{eq} puisqu'ici l'état final est un état d'équilibre).

(en mol)	$N_2O_4(g)$	$= 2NO_2(g)$	$n_{tot,gaz}$
Etat initial	$12,5 \cdot 10^{-3}$	0	$12,5 \cdot 10^{-3}$
En cours	$12,5 \cdot 10^{-3} - \xi$	2ξ	$12,5 \cdot 10^{-3} + \xi$
Etat final	$12,5 \cdot 10^{-3} - \xi_{eq}$	$2\xi_{eq}$	$12,5 \cdot 10^{-3} + \xi_{eq}$

POINT MÉTHODE : Pour une réaction en phase gazeuse, toujours ajouter une colonne indiquant le nombre total de moles de gaz dans le tableau d'avancement.

On connaît la pression totale à l'équilibre et on souhaite la relier à l'avancement à l'équilibre. Pour cela, on peut utiliser la loi des gaz parfaits :

$$P_{tot}V = n_{tot,eq}RT = (12,5 \cdot 10^{-3} + \xi_{eq})RT$$

On en déduit la valeur de l'avancement final (attention aux unités !) :

$$\xi_{eq} = \frac{P_{tot}V}{RT} - 12,5 \cdot 10^{-3} = \frac{0,39 \cdot 10^5 \times 1 \cdot 10^{-3}}{8,314 \times 298} - 12,5 \cdot 10^{-3} = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

2. Grâce à la mesure de la pression, on connaît l'avancement à l'équilibre donc la composition du système à l'équilibre et on peut calculer le quotient réactionnel à l'équilibre. On applique la relation de Guldberg et Waage : $Q_{r,eq} = K^\circ$, soit :

$$\frac{P_{NO_2,eq}^2}{P_{N_2O_4,eq} P^\circ} = K^\circ$$

Exprimons les pressions partielles en fonction des fractions molaires et de la pression totale :

$$K^\circ = \frac{(x_{NO_2,eq} P_{tot})^2}{x_{N_2O_4,eq} P_{tot} P^\circ} = \frac{x_{NO_2,eq}^2 P_{tot}}{x_{N_2O_4,eq} P^\circ}$$

puis les fractions molaires en fonction des quantités de matière :

$$K^\circ = \frac{\left(\frac{n_{NO_2,eq}}{n_{tot,eq}}\right)^2 P_{tot}}{\frac{n_{N_2O_4,eq}}{n_{tot,eq}} P^\circ} = \frac{n_{NO_2,eq}^2 P_{tot}}{n_{N_2O_4,eq} n_{tot,eq} P^\circ}$$

$$K^\circ = \frac{(2\xi_{eq})^2 \cdot P_{tot}}{(12,5 \cdot 10^{-3} - \xi_{eq})(12,5 \cdot 10^{-3} + \xi_{eq}) P^\circ}$$

Application numérique : $K^\circ = 0,112$.

Exercice 9 : Évaporation de l'éther

1) À l'état initial, il n'y a pas de vapeur d'éther dans l'éprouvette (seulement de l'air) donc l'équilibre liquide-vapeur de l'éther n'est pas atteint. La température et la pression étant constantes, l'évaporation de l'éther se traduira par une augmentation du volume total de gaz donc une montée du piston.

On calcule les quantités de matière initiales du système :

$$n_{\text{ether},0} = \frac{\rho \cdot V}{M} = \frac{0,712,0}{74,1} = 0,02 \text{ mol}$$

$$n_{\text{air},0} = \frac{P_{\text{tot}} \cdot V_{\text{air}}}{RT} = \frac{1,10^5 \times 8,10^{-6}}{8,314 \times 293} = 3,3 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

On fait l'hypothèse qu'un état d'équilibre (ici l'équilibre liquide-vapeur) est atteint : il y a assez d'éther liquide au départ pour atteindre la pression de vapeur saturante de l'éther et il reste toujours du liquide.

Si cette hypothèse est vraie, on aura $P_{\text{ether},eq} = P_{\text{sat},ether} = 0,59 \text{ bar}$

On a : $P_{\text{ether},eq} = x_{\text{ether},eq} \cdot P_{\text{tot}}$ donc on peut calculer la fraction molaire d'éther :

$$x_{\text{ether},eq} = \frac{P_{\text{ether},eq}}{P_{\text{tot}}} = \frac{0,59}{1} = 0,59$$

On peut alors calculer la quantité de matière d'éther en phase vapeur :

$$x_{\text{ether},eq} = \frac{n_{\text{ether},eq}}{n_{\text{tot}}} = \frac{n_{\text{ether},eq}}{(n_{\text{ether},eq} + n_{\text{air}})} = 0,59$$

$$n_{\text{ether},eq} = \frac{x_{\text{ether},eq} \cdot n_{\text{air}}}{(1 - x_{\text{ether},eq})} = 4,75 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

Cette quantité de matière étant très inférieure à $n_{\text{ether},0}$, la quantité d'éther liquide est pratiquement inchangée. Cela signifie que l'hypothèse de départ est vérifiée (il y a bien équilibre liquide-vapeur, c'est à dire coexistence des deux phases) et que le volume de la phase liquide est inchangé.

On peut alors déterminer le volume de la phase gaz avec la loi des gaz parfaits :

$$V_{\text{gaz},eq1} = \frac{(n_{\text{air}} + n_{\text{ether},eq}) \cdot RT}{P} = 19 \text{ mL}$$

Le piston se trouvera donc sur la graduation 21 mL à la fin de la transformation, lorsque l'équilibre aura été atteint.

2) Avec le même raisonnement qu'à la question précédente, on trouve :

$$x_{\text{ether},eq2} = 0,81 \text{ ce qui donne } n_{\text{ether},eq} = 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ mol.}$$

La quantité d'éther qui est passée de liquide à gaz représente cette fois-ci environ 10% de la quantité totale d'éther. On fera l'approximation que le niveau d'éther liquide reste proche de 2 mL.

$$\text{Le volume de gaz obtenu à l'équilibre vaut } V_{\text{gaz},eq2} = \frac{(n_{\text{air}} + n_{\text{ether},eq2}) \cdot RT_2}{P} = 43 \text{ mL.}$$

Le piston se trouvera donc sur la graduation 45 mL à la fin de la transformation.

3) La température de 37°C est supérieure à la température d'ébullition de l'éther sous 1 bar. La totalité de l'éther va donc passer en phase vapeur. Le volume occupé par l'éther totalement en phase gaz plus l'air initialement présent donne un volume total de :

$$V_{\text{gaz},eq2} = \frac{(n_{\text{air}} + n_{\text{ether},0}) \cdot RT_3}{P} = 520 \text{ mL}$$

Ce volume étant largement supérieur au volume total de l'éprouvette, le piston va monter jusqu'à sortir de l'éprouvette et le gaz s'échappera. On est dans une situation de rupture d'équilibre puisqu'une phase condensée pure (l'éther liquide) a complètement disparu.

Remarque : L'expérience est réalisée à pression atmosphérique et à une température supérieure à la température d'ébullition de l'éther. Cela signifie également que la pression de vapeur saturante de l'éther est supérieure à 1 bar à 37°C (cf diagramme P,T). Le piston maintenant une pression totale de 1,0 bar, il était impossible que la pression partielle de l'éther atteigne la pression de vapeur saturante à l'intérieur de l'éprouvette. La rupture d'équilibre était donc inévitable.