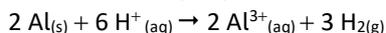
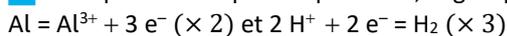


Exercices du chapitre 4 - correction

25 a. D'après les couples en présence, le gaz qui se dégage est le dihydrogène.



b.

		$2 \text{Al}_{(s)} + 6 \text{H}^+_{(aq)} \rightarrow 2 \text{Al}^{3+}_{(aq)} + 3 \text{H}_{2(g)}$			
Avancement	Quantité de matière de...	$\text{Al}_{(s)}$	$\text{H}^+_{(aq)}$	$\text{Al}^{3+}_{(aq)}$	$\text{H}_{2(g)}$
0	...apportée à l'état initial	$n = 4,0 \times 10^{-3} \text{ mol}$	$n' = 6,0 \times 10^{-3} \text{ mol}$	0	0
x	...en cours de réaction	$n - 2x$	$n' - 6x$	$2x$	$3x$
$x_f = x_{\max}$	...présente à l'état final	$n - 2x_{\max} = 2,0 \times 10^{-3} \text{ mol}$	$n' - 6x_{\max} = 0$	$2x_{\max} = 4,0 \times 10^{-3} \text{ mol}$	$3x_{\max} = 6,0 \times 10^{-3} \text{ mol}$

Si $\text{Al}_{(s)}$ est le réactif limitant, $n - 2x_{\max} = 0$ soit $x_{\max} = \frac{n}{2} = 2,0 \times 10^{-3} \text{ mol}$.

Si $\text{H}^+_{(aq)}$ est le réactif limitant, $n' - 6x_{\max} = 0$ soit $x_{\max} = \frac{n'}{6} = 1,0 \times 10^{-3} \text{ mol}$.

La plus petite valeur de x_{\max} ne peut être dépassée donc $x_{\max} = 1,0 \times 10^{-3} \text{ mol}$ et $\text{H}^+_{(aq)}$ est le réactif limitant.

D'après le tableau d'avancement, le système est composé dans son état final de $n - 2x_{\max} = 2,0 \times 10^{-3} \text{ mol}$ de $\text{Al}_{(s)}$, de $2x_{\max} = 4,0 \times 10^{-3} \text{ mol}$ de $\text{Al}^{3+}_{(aq)}$ et de $3x_{\max} = 6,0 \times 10^{-3} \text{ mol}$ de $\text{H}_{2(g)}$.

c. $V = 3x_{\max} \times V_m = 6,0 \times 10^{-3} \times 24,0 = 0,14 \text{ L}$.

30 a. Le système est composé initialement de $n_1 = 0,20 \text{ mol}$ de Al et de $n_2 = 0,15 \text{ mol}$ de I_2 .

b. Le réactif limitant est entièrement consommé dans l'état final : il s'agit donc de I_2 et l'avancement maximal x_{\max} de cette réaction est donc tel que $n_2 - 3x_{\max} = 0$ soit $x_{\max} = \frac{n_2}{3} = 5,0 \times 10^{-2} \text{ mol}$.

c. Le système est composé finalement de $n_1 - 2x_{\max} = 0,10 \text{ mol}$ de Al et de $2x_{\max} = 0,10 \text{ mol}$ de AlI_3 .

32

		$2 \text{I}^-_{(aq)} + \text{H}_2\text{O}_{2(aq)} + 2 \text{H}^+_{(aq)} \rightarrow \text{I}_{2(aq)} + 2 \text{H}_2\text{O}_{(l)}$				
Avancement	Quantité de matière de...	$\text{I}^-_{(aq)}$	$\text{H}_2\text{O}_{2(aq)}$	$\text{H}^+_{(aq)}$	$\text{I}_{2(aq)}$	$\text{H}_2\text{O}_{(l)}$
0	...apportée à l'état initial	$n = 1,0 \text{ mmol}$	$n' = 2,0 \text{ mmol}$	Excès	0	Solvant
x	...en cours de réaction	$n - 2x$	$n' - x$	Excès	x	Solvant
$x_f = x_{\max}$	...présente à l'état final	$n - 2x_{\max} = 0$	$n' - x_{\max} = 1,5 \text{ mmol}$	Excès	$x_{\max} = 0,50 \text{ mmol}$	Solvant

Si $\text{I}^-_{(aq)}$ est le réactif limitant, $n - 2x_{\max} = 0$, soit $x_{\max} = \frac{n}{2} = 0,50 \text{ mmol}$.

Si $\text{H}_2\text{O}_{2(aq)}$ est le réactif limitant, $n' - x_{\max} = 0$, soit $x_{\max} = n' = 2,0 \text{ mmol}$.

La plus petite valeur de x_{\max} ne peut être dépassée donc $x_{\max} = 0,50 \text{ mmol}$ et $\text{I}^-_{(aq)}$ est le réactif limitant.

34 a. Le réactif limitant voit sa quantité de matière finale s'annuler donc il s'agit ici de $\text{H}^+_{(aq)}$.

L'avancement maximal x_{\max} alors atteint est égal à $5,0 \times 10^{-5} \text{ mol}$.

b. Le système est composé finalement de $1,0 \times 10^{-4} \text{ mol}$ de $\text{Cl}^-_{(aq)}$, de $5,0 \times 10^{-5} \text{ mol}$ de $\text{Zn}_{(s)}$ et de $5,0 \times 10^{-5} \text{ mol}$ de $\text{Zn}^{2+}_{(aq)}$ et $\text{H}_{2(g)}$.

36 a. D'après le tableau d'avancement précédent, $n = 1,5 \times 10^{-3} \text{ mol} = 3x_{\max}$.

Donc $x_{\max} = \frac{n}{3} = 5,0 \times 10^{-4} \text{ mol}$.

b. Les quantités de matière minimales de réactifs qu'il a fallu apporter correspondent aux proportions stœchiométriques donc $n_1 - x_{\max} = 0$ et $n_2 - 2x_{\max} = 0$ soit $n_1 = x_{\max} = 5,0 \times 10^{-4} \text{ mol}$ et $n_2 = 2x_{\max} = 1,0 \times 10^{-3} \text{ mol}$.

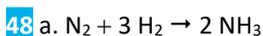
37 L'équation de la réaction est : $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2 + \text{C}_2\text{H}_6\text{O} \rightarrow \text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$.

D'après les nombres stœchiométriques, $x_{\max} = 1,0 \text{ mol}$ et les quantités de matière finales de $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$ et H_2O sont égales à x_f .

Les deux valeurs sont différentes donc la réaction n'est pas totale.

46

		P ₄	+	6 Br ₂	→	4 PBr ₃
Avancement	Quantité de matière de...	P ₄		Br ₂		PBr ₃
0	...apportée à l'état initial	$n_1 = 0,10 \text{ mol}$		$n_2 = 0,30 \text{ mol}$		0
x	...en cours de réaction	$n_1 - x$		$n_2 - 6x$		$4x$
$x_f = x_{\max}$	...présente à l'état final	$n_1 - x_{\max} = 0,05 \text{ mol}$		$n_2 - 6x_{\max} = 0$		$4x_{\max} = 0,20 \text{ mol}$



b.

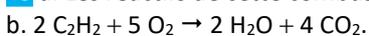
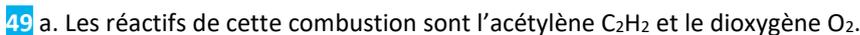
		N ₂	+	3 H ₂	→	2 NH ₃
Avancement	Quantité de matière de...	N ₂		H ₂		NH ₃
0	...apportée à l'état initial	$n_1 = 2,0 \text{ mol}$		$n_2 = 3,0 \text{ mol}$		0
x	...en cours de réaction	$n_1 - x$		$n_2 - 3x$		$2x$
$x_f = x_{\max}$	...présente à l'état final	$n_1 - x_{\max} = 1,0 \text{ mol}$		$n_2 - 3x_{\max} = 0$		$2x_{\max} = 2,0 \text{ mol}$

c. Si N₂ est le réactif limitant, $n_1 - x_{\max} = 0$ soit $x_{\max} = n_1 = 2,0 \text{ mol}$.

Si H₂ est le réactif limitant, $n_2 - 3x_{\max} = 0$ soit $x_{\max} = \frac{n_2}{3} = 1,0 \text{ mol}$.

La plus petite valeur de x_{\max} ne peut être dépassée donc $x_{\max} = 1,0 \text{ mol}$ et H₂ est le réactif limitant.

d. On remplace x_{\max} par sa valeur et on complète la dernière ligne du tableau.



c.

		2 C ₂ H ₂	+	5 O ₂	→	4 CO ₂	+	2 H ₂ O
Avancement	Quantité de matière de...	C ₂ H ₂		O ₂		CO ₂		H ₂ O
0	...apportée à l'état initial	$n = 1,0 \text{ mol}$		Excès		0		0
x	...en cours de réaction	$n - x$		Excès		$4x$		$2x$
$x_f = x_{\max}$	...présente à l'état final	$n - x_{\max} = 0$		Excès		$4x_{\max} = 4,0 \text{ mol}$		$2x_{\max} = 2,0 \text{ mol}$

Soit n la quantité de matière de C₂H₂ apportée et M la masse molaire de C₂H₂ :

$$n = \frac{m}{M} = \frac{26}{26,0} = 1,0 \text{ mol}$$

Le système à l'état final comporte donc un excès de dioxygène, $4x_{\max} = 4,0 \text{ mol}$ de dioxyde de carbone et $2x_{\max} = 2,0 \text{ mol}$ d'eau.

d. $V' = 4x_{\max}V_m = 4,0 \times 24,0 = 96 \text{ L}$



b. Soit M la masse molaire de Fe₂O₃ et soit M' celle d'Al.

$$n = \frac{m}{M} = \frac{32}{159,6} = 0,20 \text{ mol}$$

$$n' = \frac{m'}{M'} = \frac{5,4}{27,0} = 0,20 \text{ mol}$$

c. Dressons un tableau d'avancement pour cette réaction :

		Fe ₂ O ₃ + 2 Al → 2 Fe + Al ₂ O ₃			
Avancement	Quantité de matière de...	Fe ₂ O ₃	Al	Fe	Al ₂ O ₃
0	...apportée à l'état initial	$n = 0,20 \text{ mol}$	$n' = 0,20 \text{ mol}$	0	0
x	...en cours de réaction	$n - x$	$n' - 2x$	$2x$	x
$x_f = x_{\max}$	...présente à l'état final	$n - x_{\max} = 0,10 \text{ mol}$	$n' - 2x_{\max} = 0$	$2x_{\max} = 0,20 \text{ mol}$	$x_{\max} = 0,10 \text{ mol}$

Si Fe₂O₃ est le réactif limitant, $n - x_{\max} = 0$, soit $x_{\max} = n = 0,20 \text{ mol}$.

Si Al est le réactif limitant, $n' - 2x_{\max} = 0$, soit $x_{\max} = \frac{n'}{2} = 0,10 \text{ mol}$.

La plus petite valeur de x_{\max} ne peut être dépassée donc $x_{\max} = 0,10 \text{ mol}$ et Al est le réactif limitant.

d. D'après la dernière ligne du tableau d'avancement, dans l'état final, le système comporte $n - x_{\max} = 0,10 \text{ mol}$ de Fe₂O₃, $2x_{\max} = 0,20 \text{ mol}$ de Fe et $x_{\max} = 0,10 \text{ mol}$ de Al₂O₃.

e. $m_1 = 2x_{\max}M_{\text{Fe}} = 0,20 \times 55,8 = 11 \text{ g}$.

Soit M_2 la masse molaire de Al₂O₃.

$M_2 = x_{\max}M_2 = 0,10 \times 102,0 = 10 \text{ g}$.

52 a. $2 \text{ Fe}^{3+} + 3 \text{ Zn} \rightarrow 2 \text{ Fe} + 3 \text{ Zn}^{2+}$

b.

		2 Fe ³⁺ + 3 Zn → 2 Fe + 3 Zn ²⁺			
Avancement	Quantité de matière de...	Fe ³⁺	Zn	Fe	Zn ²⁺
0	...apportée à l'état initial	n_1	$n_2 = 3,0 \times 10^{-2} \text{ mol}$	0	0
x	...en cours de réaction	$n_1 - 2x$	$n_2 - 3x$	$2x$	$3x$
$x_f = x_{\max}$	...présente à l'état final	$n_1 - 2x_{\max} = 0$	$n_2 - 3x_{\max} = 0$	$2x_{\max} = 2,0 \times 10^{-2} \text{ mol}$	$3x_{\max} = 3,0 \times 10^{-2} \text{ mol}$

c. Pour un mélange stœchiométrique, les deux réactifs sont entièrement consommés, soit $n_2 - 3x_{\max} = 0$ et $n_1 - 2x_{\max} = 0$ donc $x_{\max} = \frac{n_2}{3} = 1,0 \times 10^{-2} \text{ mol}$ et $n_1 = 2x_{\max} = 2,0 \times 10^{-2} \text{ mol}$.

$n_1 = c_1V_1$ donc $V_1 = \frac{n_1}{c_1} = 0,20 \text{ L}$.

d. D'après la dernière ligne du tableau d'avancement, dans l'état final, le système comporte $2x_{\max} = 2,0 \times 10^{-2} \text{ mol}$ de fer et $3x_{\max} = 3,0 \times 10^{-2} \text{ mol}$ d'ions zinc.

$c = \frac{3x_{\max}}{V_1} = 0,15 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

53 1. $2 \text{ Ag}^+_{(\text{aq})} + \text{CrO}_4^{2-}_{(\text{aq})} \rightarrow \text{Ag}_2\text{CrO}_4_{(\text{s})}$

2. a. Les droites décroissantes représentent les quantités de matière des réactifs Ag⁺_(aq) et CrO₄²⁻_(aq) en fonction de l'avancement car la quantité de matière d'un réactif diminue au cours de la réaction.

Par conséquent, on lit qu'elles sont initialement égales à $1,0 \times 10^{-2} \text{ mol}$. La droite croissante représente la quantité de matière de produit Ag₂CrO_{4(s)} en fonction de l'avancement car la quantité de matière de produit augmente au cours de la réaction. Par conséquent, on lit qu'elle est initialement nulle.

b.

		2 Ag ⁺ _(aq) + CrO ₄ ²⁻ _(aq) → Ag ₂ CrO _{4(s)}		
Avancement	Quantité de matière de...	Ag ⁺ _(aq)	CrO ₄ ²⁻ _(aq)	Ag ₂ CrO _{4(s)}
0	...apportée à l'état initial	$n_1 = 1,0 \times 10^{-2} \text{ mol}$	$n_2 = 1,0 \times 10^{-2} \text{ mol}$	0
x	...en cours de réaction	$n_1 - 2x$	$n_2 - x$	x
$x_f = x_{\max}$	...présente à l'état final	$n_1 - 2x_{\max} = 0$	$n_2 - x_{\max} = 5,0 \times 10^{-3} \text{ mol}$	$x_{\max} = 5,0 \times 10^{-3} \text{ mol}$

D'après le tableau d'avancement, la quantité de matière de $\text{Ag}^+_{(\text{aq})}$ décroît plus vite que celle de $\text{CrO}_4^{2-}_{(\text{aq})}$. Par conséquent, la droite représentant la quantité de matière de $\text{Ag}^+_{(\text{aq})}$ est celle qui croise l'axe des abscisses en premier. L'autre droite décroissante représente la quantité de matière de $\text{CrO}_4^{2-}_{(\text{aq})}$ et la droite croissante celle de $\text{Ag}_2\text{CrO}_4(\text{s})$.

c. Le réactif limitant est $\text{Ag}^+_{(\text{aq})}$ car sa quantité de matière s'annule alors qu'il reste des ions $\text{CrO}_4^{2-}_{(\text{aq})}$.

On lit la valeur de l'abscisse pour laquelle la quantité de matière de s'annule : $x_{\text{max}} = 5,0 \times 10^{-3}$ mol.

d. Le système est composé dans son état final de $n_2 - x_{\text{max}} = 5,0 \times 10^{-3}$ mol d'ions $\text{CrO}_4^{2-}_{(\text{aq})}$ et de $x_{\text{max}} = 5,0 \times 10^{-3}$ mol de $\text{Ag}_2\text{CrO}_4(\text{s})$.

55 a. $\text{CO}_2 + 2 \text{NH}_3 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CON}_2\text{H}_4$

b.

		CO_2	+	2NH_3	\rightarrow	H_2O	+	CON_2H_4
Avancement	Quantité de matière de...	CO_2		NH_3		H_2O		CON_2H_4
0	...apportée à l'état initial	$n_1 = 1,0$ mol		$n_2 = 2,0$ mol		0		0
x	...en cours de réaction	$n_1 - x$		$n_2 - 2x$		x		$2x$
x_f	...présente à l'état final	$n_1 - x_f = 0,61$ mol		$n_2 - 2x_f = 1,2$ mol		$n_3 = 0,39$ mol = x_f		$n_4 = 0,39$ mol = x_f
x_{max}	...présente à l'état d'avancement maximal	$n_1 - x_{\text{max}} = 0$		$n_2 - 2x_{\text{max}} = 0$		$x_{\text{max}} = 1,0$ mol		$x_{\text{max}} = 1,0$ mol

c. Si CO_2 est le réactif limitant, $n_1 - x_{\text{max}} = 0$, soit $x_{\text{max}} = n_1 = 1,0$ mol.

Si NH_3 est le réactif limitant, $n_2 - 2x_{\text{max}} = 0$, soit $x_{\text{max}} = \frac{n_2}{2} = 1,0$ mol.

Donc $x_{\text{max}} = 1,0$ mol : le mélange initial est un mélange stœchiométrique.

d. D'après le tableau d'avancement, les quantités de matière finale de H_2O et CON_2H_4 sont égales à l'avancement final x_f de la réaction donc $x_f = 0,39$ mol et est donc inférieur à x_{max} . La transformation n'est pas totale.

e. Soit M_2 la masse molaire de NH_3 , $m'_2 = (n_2 - 2x_f) \times M_2 = 21$ g.

56 1. $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2 + \text{C}_5\text{H}_{12}\text{O} \rightarrow \text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$

2. Soit M_1 la masse molaire de l'acide éthanoïque et M_2 celle de l'alcool isoamylique :

$$n_1 = \frac{\rho_1 \times V_1}{M_1} = \frac{1,05 \times 30}{60,0} = 0,51 \text{ mol}$$

$$n_2 = \frac{\rho_2 \times V_2}{M_2} = \frac{0,81 \times 33}{88,0} = 0,30 \text{ mol}$$

3. a.

		$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$	+	$\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}$	\rightarrow	$\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}_2$	+	H_2O
Avancement	Quantité de matière de...	$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$		$\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}$		$\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}_2$		H_2O
0	...apportée à l'état initial	$n_1 = 0,51$ mol		$n_2 = 0,30$ mol		0		0
x	...en cours de réaction	$n_1 - x$		$n_2 - x$		x		$2x$
x_f	...présente à l'état final	$n_1 - x_f = 0,31$ mol		$n_2 - x_f = 0,10$ mol		$n = 0,20$ mol = x_f		$n' = 0,20$ mol = x_f
x_{max}	...présente à l'état d'avancement maximal	$n_1 - x_{\text{max}} = 0,21$ mol		$n_2 - x_{\text{max}} = 0$		$x_{\text{max}} = 0,30$ mol		$x_{\text{max}} = 0,30$ mol

Si $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ est le réactif limitant, $n_1 - x_{\text{max}} = 0$, soit $x_{\text{max}} = n_1 = 0,51$ mol.

Si $C_5H_{12}O$ est le réactif limitant, $n_2 - x_{\max} = 0$, soit $x_{\max} = n_2 = 0,30$ mol.

La plus petite valeur de x_{\max} ne peut être dépassée donc $x_{\max} = 0,30$ mol et $C_5H_{12}O$ est le réactif limitant.

b. D'après le tableau d'avancement, l'avancement final x_f est égal à n_1 ou n' donc $x_f = 0,20$ mol.

Avancement	Quantité de matière de...	$Ag^+_{(aq)}$	$CO_3^{2-}_{(aq)}$	$Ag_2CO_{3(s)}$
0	...apportée à l'état initial	$n_0 = 5,0 \times 10^{-4}$ mol	$n_1 = 4,0 \times 10^{-5}$ mol	0
x	...en cours de réaction	$n_0 - 2x$	$n_1 - x$	x
$x_f = x_{\max}$	...présente à l'état final	$n_0 - 2x_{\max} = 4,2 \times 10^{-4}$ mol	$n_1 - x_{\max} = 0$	$x_{\max} = 4,0 \times 10^{-5}$ mol

57 a.

$$x_{\max} = \frac{n_0}{2} =$$

		Fe^{3+}	+	SCN^-	→	$FeSCN^{2+}$
Avancement	Quantité de matière de...	Fe^{3+}		SCN^-		$FeSCN^{2+}$
0	...apportée à l'état initial	$n = 2,0$ mol		$n' = 5,0$ mol		0
x	...en cours de réaction	$n - x$		$n' - x$		x
x_f	...présente à l'état final	$n - x_f = 0,6$ mol		$n' - x_f = 3,6$ mol		$x_f = 1,4$ mol = n''
x_{\max}	...présente à l'état d'avancement maximal	$n - x_{\max} = 0$		$n' - x_{\max} = 3,0$ mol		$x_{\max} = 2,0$ mol

b. Si Fe^{3+} est le réactif limitant, $n - x_{\max} = 0$, soit $x_{\max} = n = 2,0$ mol.

Si SCN^- est le réactif limitant, $n' - x_{\max} = 0$, soit $x_{\max} = n' = 5,0$ mol.

La plus petite valeur de x_{\max} ne peut être dépassée donc $x_{\max} = 2,0$ mol et Fe^{3+} est le réactif limitant.

D'après le tableau d'avancement, la quantité de matière finale est égale à l'avancement final x_f donc $x_f = 1,4$ mol.

Le système dans son état final contient $n - x_f = 0,6$ mol de Fe^{3+} , $n' - x_f = 3,6$ mol de SCN^- et $n'' = 1,4$ mol d'ions $FeSCN^{2+}$.

c. L'avancement final étant différent de l'avancement maximal, la réaction n'est pas totale.

59 1. $2 Ag^+_{(aq)} + CO_3^{2-}_{(aq)} \rightarrow Ag_2CO_{3(s)}$.

$$2. n_0 = c_0 V_0 = 5,0 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

$$n_1 = c_1 V_1 = 4,0 \times 10^{-5} \text{ mol}$$

		$2 Ag^+_{(aq)}$	+	$CO_3^{2-}_{(aq)}$	→	$Ag_2CO_{3(s)}$
Avancement	Quantité de matière de...	$Ag^+_{(aq)}$		$CO_3^{2-}_{(aq)}$		$Ag_2CO_{3(s)}$
0	...apportée à l'état initial	$n_0 = 5,0 \times 10^{-4}$ mol		$n_1 = 4,0 \times 10^{-5}$ mol		0
x	...en cours de réaction	$n_0 - 2x$		$n_1 - x$		x
$x_f = x_{\max}$	...présente à l'état final	$n_0 - 2x_{\max} = 4,2 \times 10^{-4}$ mol		$n_1 - x_{\max} = 0$		$x_{\max} = 4,0 \times 10^{-5}$ mol

Si Ag^+ est le réactif limitant, $n_0 - 2x_{\max} = 0$, soit $x_{\max} = \frac{n_0}{2} = 2,5 \times 10^{-4}$ mol.

Si CO_3^{2-} est le réactif limitant, $n_1 - x_{\max} = 0$, soit $x_{\max} = n_1 = 4,0 \times 10^{-5}$ mol.

La plus petite valeur de x_{\max} ne peut être dépassée donc $x_{\max} = 4,0 \times 10^{-5}$ mol et CO_3^{2-} est le réactif limitant.

3. Pour que le mélange initial soit stœchiométrique, il faut d'une part que $n_0 - 2x_{\max} = 0$ soit $x_{\max} = \frac{n_0}{2} = 2,5 \times 10^{-4}$ mol et d'autre part que $n_1 - x_{\max} = 0$ soit $n_1 = x_{\max}$ d'où $V_1 = \frac{x_{\max}}{c_1} = \frac{2,5 \times 10^{-4}}{2,0 \times 10^{-2}} = 13$ mL.

4. a. $m = x_{\max} M$ où M est la masse molaire de $\text{Ag}_2\text{CO}_3(\text{s})$.

Donc $x_{\max} = \frac{m}{M} = \frac{28 \times 10^{-3}}{275,8} = 1,0 \times 10^{-4}$ mol.

Or, d'après ce qui précède, $V_1 = \frac{x_{\max}}{c_1} = \frac{1,0 \times 10^{-4}}{2,0 \times 10^{-2}} = 5,0$ mL.

b. Le réactif en excès est donc $\text{Ag}^+(\text{aq})$.

$c = \frac{n_0 - 2x_{\max}}{V_0 + V_1} = \frac{3,0 \times 10^{-4}}{10,0 \times 10^{-3} + 5,0 \times 10^{-3}} = 2,0 \times 10^{-2}$ mol·L⁻¹.

60 a. $\text{ClO}^-(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq}) + 2 \text{H}^+(\text{aq}) \rightarrow \text{Cl}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$.

b.

		$\text{ClO}^-(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq}) + 2 \text{H}^+(\text{aq}) \rightarrow$			$\text{Cl}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$	
Avancement	Quantité de matière de...	$\text{ClO}^-(\text{aq})$	$\text{Cl}^-(\text{aq})$	$\text{H}^+(\text{aq})$	$\text{Cl}_2(\text{g})$	$\text{H}_2\text{O}(\text{l})$
0	...apportée à l'état initial	$n_1 = 7,7 \times 10^{-2}$ mol	Excès	Excès	0	0
x	...en cours de réaction	$n_1 - x$	Excès	Excès	x	x
$x_f = x_{\max}$	...présente à l'état final	$n_1 - x_{\max} = 0$	Excès	Excès	$x_{\max} = 7,7 \times 10^{-2}$ mol	$x_{\max} = 7,7 \times 10^{-2}$ mol

c. Soit M la masse molaire du dichlore et soit m la masse de dichlore dégagé :

$n = \frac{m}{M} = \frac{5,5}{71,0} = 7,7 \times 10^{-2}$ mol.

d. D'après le tableau d'avancement, $x_{\max} = n = 7,7 \times 10^{-2}$ mol.

ClO^- étant par hypothèse le réactif limitant, $n_1 - x_{\max} = 0$ soit $n_1 = x_{\max} = 7,7 \times 10^{-2}$ mol.

e. D'après le tableau d'avancement, l'avancement maximal est alors égal à $n'_1 = 7,5 \times 10^{-2}$ mol. On forme donc $n'_1 = 7,5 \times 10^{-2}$ mol de dichlore soit une masse $m' = n'_1 M = 5,3$ g. L'eau de Javel n'a donc que 5,3 % de chlore actif, ce qui n'est pas conforme aux indications du fabricant.

61 a. $4 \text{Fe}^{3+} + 3 \text{Fe}(\text{CN})_6^{4-} \rightarrow \text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$.

b.

		$4 \text{Fe}^{3+} + 3 \text{Fe}(\text{CN})_6^{4-} \rightarrow$		$\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$
Avancement	Quantité de matière de...	Fe^{3+}	$\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$	$\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$
0	...apportée à l'état initial	$n_1 = 2,0 \times 10^{-3}$ mol	$n_2 = 1,5 \times 10^{-3}$ mol	0
x	...en cours de réaction	$n_1 - 4x$	$n_2 - 3x$	x
$x_f = x_{\max}$	...présente à l'état final	$n_1 - 4x_{\max} = 0$	$n_2 - 3x_{\max} = 0$	$x_{\max} = 5,0 \times 10^{-4}$ mol

c. D'après le tableau d'avancement, $m = x_{\max} \times M$.

Donc $x_{\max} = \frac{m}{M} = \frac{0,43}{859,2} = 5,0 \times 10^{-4}$ mol

Or, le mélange initial est stœchiométrique donc on a d'une part $n_1 - 4x_{\max} = 0$, soit $n_1 = 4x_{\max} = 2,0 \times 10^{-3}$ mol, et d'autre part, $n_2 - 3x_{\max} = 0$ soit $n_2 = 3x_{\max} = 1,5 \times 10^{-3}$ mol.

d. $V_1 = \frac{n_1}{c_1} = \frac{2,0 \times 10^{-3}}{0,10} = 20$ mL.

$V_2 = \frac{n_2}{c_2} = \frac{1,5 \times 10^{-3}}{3,0 \times 10^{-2}} = 5,0$ mL.

e.

		4 Fe ³⁺	+	3 Fe(CN) ₆ ⁴⁻	→	Fe ₄ [Fe(CN) ₆] ₃
Avancement	Quantité de matière de...	Fe ³⁺		Fe(CN) ₆ ⁴⁻		Fe ₄ [Fe(CN) ₆] ₃
0	...apportée à l'état initial	$n'_1 = c_1 V'$ $= 5,0 \times 10^{-4}$ mol		$n'_2 = c_1 V'$ $= 1,5 \times 10^{-3}$ mol		0
x	...en cours de réaction	$n'_1 - 4x$		$n'_2 - 3x$		x
$x_f = x_{\max}$	...présente à l'état final	$n'_1 - 4x'_{\max} = 0$		$n'_2 - 3x'_{\max}$		$x'_{\max} = 1,3 \times 10^{-5}$ mol

$V' < V_1$: Fe³⁺ est le réactif limitant : $n'_1 - 4x'_{\max} = 0$ donc $x'_{\max} = \frac{n'_1}{4} = 1,3 \times 10^{-5}$ mol.

Par conséquent, $m = x'_{\max} M = 0,11$ g.

64 a. Le nitrobenzaldéhyde étant nocif et irritant, il faut porter une blouse, des gants et des lunettes, tout en manipulant sous hotte.

b. $2 \text{C}_7\text{H}_5\text{NO}_3(\text{s}) + 2 \text{C}_3\text{H}_6\text{O}(\text{l}) + 2 \text{HO}^-(\text{aq}) \rightarrow \text{C}_{16}\text{H}_{10}\text{N}_2\text{O}_2(\text{s}) + 2 \text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^-(\text{aq}) + 4 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$

c. La quantité de matière apportée de 2-nitrobenzaldéhyde est : $n_1 = \frac{m_1}{M_1} = 6,6 \times 10^{-3}$ mol.

La quantité de matière apportée d'acétone est : $n_2 = \frac{\rho V_2}{M_2} = 0,14$ mol.

La quantité de matière apportée d'ions hydroxyde est : $n_3 = c_3 V_3 = 8,0 \times 10^{-3}$ mol.

d. On dresse un tableau d'avancement pour la transformation étudiée.

		2 C ₇ H ₅ NO ₃ (s)	+	2 C ₃ H ₆ O(l)	+	2 HO ⁻ (aq)	→	C ₁₆ H ₁₀ N ₂ O ₂ (s)	+	2 C ₂ H ₃ O ₂ ⁻ (aq)	+	4 H ₂ O(l)
Avancement	Quantité de matière de...	C ₇ H ₅ NO ₃ (s)		C ₃ H ₆ O(l)		HO ⁻ (aq)		C ₁₆ H ₁₀ N ₂ O ₂ (s)		C ₂ H ₃ O ₂ ⁻ (aq)		H ₂ O(l)
0	...apportée à l'état initial	n_1 $= 6,6 \times 10^{-3}$ mol		$n_2 = 0,14$ mol		n_3 $= 8,0 \times 10^{-3}$ mol		0		0		Solvant
x	...en cours de réaction	$n_1 - 2x$		$n_2 - 2x$		$n_3 - 2x$		x		$2x$		Solvant
$x_f = x_{\max}$	...présente à l'état final	$n_1 - 2x_{\max} = 0$		$n_2 - 2x_{\max} = 0,13$ mol		$n_3 - 2x_{\max} = 1,4 \times 10^{-3}$ mol		$x_{\max} = 3,3 \times 10^{-3}$ mol		$2x_{\max} = 6,6 \times 10^{-3}$ mol		Solvant

Si le 2-nitrobenzaldéhyde est le réactif limitant, $n_1 - 2x_{\max} = 0$ soit $x_{\max} = \frac{n_1}{2} = 3,3 \times 10^{-3}$ mol.

Si l'acétone est le réactif limitant, $n_2 - 2x_{\max} = 0$ soit $x_{\max} = \frac{n_2}{2} = 6,8 \times 10^{-2}$ mol.

Si l'ion hydroxyde est le réactif limitant, $n_3 - 2x_{\max} = 0$ soit $x_{\max} = \frac{n_3}{2} = 4,0 \times 10^{-3}$ mol.

La plus petite valeur de ces valeurs de x_{\max} ne peut être dépassée, donc $x_{\max} = 3,3 \times 10^{-3}$ mol : c'est le 2-nitrobenzaldéhyde qui est en défaut.

e. On complète la dernière ligne du tableau d'avancement avec la valeur de x_{\max} calculée précédemment.

D'après ce tableau, la masse d'indigo que l'on aurait pu récupérer est donc : $m_{\text{théo}} = x_{\max} M = 0,87$ g.

f. Cette masse est largement supérieure à la masse effectivement obtenue : on peut penser qu'il y a des pertes de matière liées aux manipulations au cours des différentes étapes de la synthèse.

g. Soit m la masse d'indigo produite annuellement. D'après le travail précédent, l'avancement maximal est donc $x_{\max} = \frac{m}{M} = 1,9 \times 10^8$ mol.

La quantité de matière de nitrobenzaldéhyde nécessaire est égale à $2x_{\max}$ donc la masse correspondante est $m'_1 = 2x_{\max} M = 5,8 \times 10^{10}$ g = 58 kt.

La quantité de matière d'acétone nécessaire est aussi égale à $2x_{\max}$ donc le volume correspondant est $V'_2 = \frac{2x_{\max} M_2}{\rho_2} = 2,8 \times 10^{10}$ mL = $2,8 \times 10^4$ m³.

65 1. a. $2 \text{NO}_2 + 4 \text{NH}_3 + \text{O}_2 \rightarrow 3 \text{N}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$

b. Soit m_1 la masse de dioxyde d'azote dégagée par kilomètre et soit M_1 la masse molaire de ce gaz :

$$n_1 = \frac{m_1}{M_1} = \frac{460 \times 10^{-3}}{46,0} = 1,00 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

c.

		$2 \text{NO}_2 + 4 \text{NH}_3 + \text{O}_2 \rightarrow 3 \text{N}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$				
Avancement	Quantité de matière de...	NO_2	NH_3	O_2	N_2	H_2O
0	...apportée à l'état initial	$n_1 = 1,00 \times 10^{-2} \text{ mol}$	$n_2 = 2,00 \times 10^{-2} \text{ mol}$	Excès	0	0
x	...en cours de réaction	$n_1 - 2x$	$n_2 - 4x$	Excès	$3x$	$6x$
$x_f = x_{\text{max}}$	...présente à l'état final	$n_1 - 2x_{\text{max}} = 0$	$n_2 - 4x_{\text{max}} = 0$	Excès	$3x_{\text{max}} = 1,50 \times 10^{-2} \text{ mol}$	$6x_{\text{max}} = 3,00 \times 10^{-2} \text{ mol}$

d. La quantité de matière minimale n_2 d'ammoniac qu'il faut engager pour traiter la quantité de matière n_1 de polluant si la réaction est totale est telle que $n_1 - 2x_{\text{max}} = 0$ et $n_2 - 4x_{\text{max}} = 0$.

Par conséquent, $x_{\text{max}} = \frac{n_1}{2} = 5,00 \times 10^{-3} \text{ mol}$ et $n_2 = 4x_{\text{max}} = 2,00 \times 10^{-2} \text{ mol}$.

Le mélange constitué alors est un mélange stœchiométrique.

2. a.

		$\text{CON}_2\text{H}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{NH}_3$			
Avancement	Quantité de matière de...	CON_2H_4	H_2O	CO_2	NH_3
0	...apportée à l'état initial	$n = 1,00 \times 10^{-2} \text{ mol}$	Excès	0	0
x	...en cours de réaction	$n - x$	Excès	x	$2x$
$x'_f = x'_{\text{max}}$	...présente à l'état final	$n - x'_{\text{max}} = 0$	Excès	$x'_{\text{max}} = 1,00 \times 10^{-2} \text{ mol}$	$2x'_{\text{max}} = n_2 = 2,00 \times 10^{-2} \text{ mol}$

D'après le tableau d'avancement, $n_2 = 2x'_{\text{max}}$ donc $x'_{\text{max}} = \frac{n_2}{2} = 1,00 \times 10^{-2} \text{ mol}$.

Or, $n - x'_{\text{max}} = 0$ donc $n = x'_{\text{max}} = 1,00 \times 10^{-2} \text{ mol}$.

b. Soit M la masse molaire de l'urée :

$$m = nM = 1,00 \times 10^{-2} \times 60,0 = 0,600 \text{ g}$$

D'après l'étiquette, $m = \frac{32,5}{100} \times m'$ soit $m' = \frac{100}{32,5} \times m = \frac{100}{32,5} \times 0,600 = 1,85 \text{ g}$.

$$c. \rho' = 1,09 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1} = 1,09 \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$V' = \frac{m'}{\rho'} = \frac{1,85}{1,09 \times 10^3} = 1,70 \times 10^{-3} \text{ L consommé par km.}$$

Un bidon d'AdBlue® a un volume $V = 10 \text{ L}$

$$d = \frac{V}{V'} = \frac{10}{1,70 \times 10^{-3}} = 5,9 \times 10^3 \text{ km.}$$

66 La quantité de matière de chlorure de radium dissous est $n_1 = \frac{m_1}{M_{\text{Ra}} + 2M_{\text{Cl}}}$.

L'équation de la réaction de dissolution du chlorure de radium est $\text{RaCl}_2(\text{s}) \rightarrow \text{Ra}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{Cl}^{-}(\text{aq})$

La quantité de matière d'ions chlorure introduits en solution est donc :

$$n_2 = 2n_1 = \frac{2m_1}{M_{\text{Ra}} + 2M_{\text{Cl}}}$$

La réaction entre les ions chlorure et les ions argent est $\text{Ag}^{+}(\text{aq}) + \text{Cl}^{-}(\text{aq}) \rightarrow \text{AgCl}(\text{s})$

Cette réaction de précipitation consomme tous les ions chlorure initialement présents car les ions argent sont apportés en excès. Elle produit donc autant de chlorure d'argent qu'il y avait d'ions chlorure initialement, soit une quantité n_2 . La masse de chlorure d'argent produit est donc :

$$m_2 = n_2(M_{\text{Ag}} + M_{\text{Cl}}) \text{ soit } m_2 = 2m_1 \frac{M_{\text{Ag}} + M_{\text{Cl}}}{M_{\text{Ra}} + 2M_{\text{Cl}}} \text{ d'où l'on extrait } M_{\text{Ra}} = \frac{2m_1}{m_2} (M_{\text{Ag}} + M_{\text{Cl}}) - 2M_{\text{Cl}}$$

soit $M_{\text{Ra}} = 226,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.