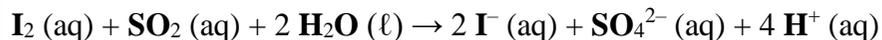


1)- Exercice 4 page 72 : Prévoir un changement de couleur :

Prévoir un changement de couleur :

On dose une solution aqueuse incolore de dioxyde de soufre SO_2 (aq) par une solution aqueuse de diiode I_2 (aq).

L'équation de la réaction support du titrage s'écrit :



Une solution aqueuse de diiode est jaune-orangée.

1. Identifier les réactifs titré et titrant.
2. Identifier le réactif limitant :
 - a. Avant l'équivalence.
 - b. Après l'équivalence.
3. Prévoir le changement de couleur de la solution dans le bécher à l'équivalence du titrage.

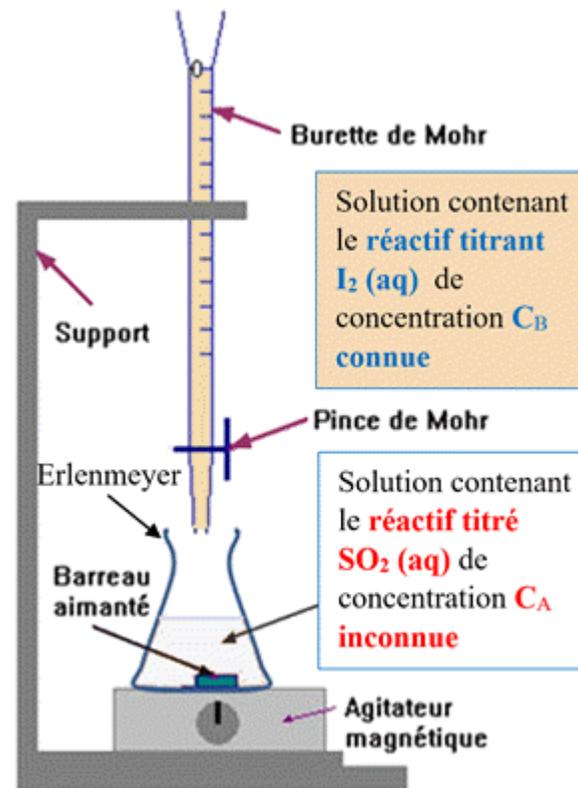
Prévoir un changement de couleur :

On dose une solution aqueuse incolore de dioxyde de soufre SO_2 (aq) par une solution aqueuse de diiode I_2 (aq).

Solution de diiode :

1. Identifier les réactifs titré et titrant.

- Le réactif titré : Solution aqueuse incolore de dioxyde de soufre SO_2 (aq).
- Le réactif titrant : Solution aqueuse jaune-orangée de diiode I_2 (aq).
- Montage :



2. Identifier le réactif limitant :

- a. Avant l'équivalence.
 - Avant l'équivalence :
 - Le réactif titrant, le diiode I_2 (aq) est totalement consommé :

- C'est le réactif limitant

- Il reste encore du réactif titré : il est en excès.

- la solution est incolore.

b. Après l'équivalence.

- Après l'équivalence :

- Le réactif titré, le dioxyde de soufre SO_2 (aq) est totalement consommé :

- C'est le réactif limitant.

- Maintenant, c'est le réactif titrant, le diiode I_2 (aq) qui est en excès.

- La solution est colorée en jaune clair.

3. Prévoir le changement de couleur de la solution dans le bécher

à l'équivalence du titrage.

- L'équivalence :

- Il y a équivalence lorsque les réactifs ont été mélangés dans les proportions stœchiométriques de la réaction.

- C'est-à-dire lorsqu'on a réalisé un mélange stœchiométrique des réactifs titré et titrant.

- Les deux réactifs de la réaction sont alors totalement consommés.

- Le mélange réactionnel est incolore.

- À l'équivalence du titrage, il y a changement de réactif limitant.

- Après l'équivalence la solution devient jaune clair.

- l'équivalence est délicate à repérer.

- Il y a du diiode en excès.

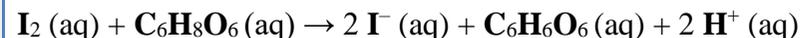
2)- Exercice 7 page 74 : Établir et exploiter une relation d'équivalence :

Établir et exploiter une relation d'équivalence :

On dose un volume $V_1 = 10,0$ mL d'une solution de vitamine C ou acide ascorbique $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ (aq), contenue dans une ampoule par une solution de diiode I_2 (aq) de concentration $C_2 = 2,0 \times 10^{-3}$ mol . L⁻¹.

Le volume de diiode versé à l'équivalence est $V_E = 15,1$ mL.

L'équation de la réaction support du titrage s'écrit :



1. Établir la relation entre les quantités n_1 ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$) et n_E (I_2).

2. Exprimer et calculer la quantité de matière n_1 ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$) de vitamine C contenue dans l'ampoule.

3. En déduire la concentration C_1 en vitamine C de la solution dans l'ampoule.

Établir et exploiter une relation d'équivalence :

Réactif titré :

Solution de vitamine C ou acide ascorbique $C_6H_8O_6$ (aq)

$V_1 = 10,0$ mL

$C_1 = ?$

Réactif titrant :

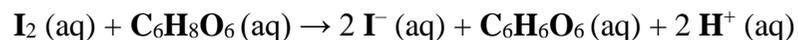
Solution de diiode I_2 (aq)

$C_2 = 2,0 \times 10^{-3}$ mol . L⁻¹.

Le volume de diiode versé à l'équivalence est :

$V_E = 15,1$ mL.

L'équation de la réaction support du titrage s'écrit :



1. Relation entre les quantités n_1 ($C_6H_8O_6$) et n_E (I_2).

- L'équivalence :

- Il y a équivalence lorsque les réactifs ont été mélangés dans les proportions stœchiométriques de la réaction.

- C'est-à-dire lorsqu'on a réalisé un mélange stœchiométrique des réactifs titré et titrant.

- Les deux réactifs de la réaction sont alors totalement consommés.

- Quantité de matière n_1 ($C_6H_8O_6$) de vitamine C contenue dans l'ampoule :

$$- n_1 (C_6H_8O_6) = C_1 \cdot V_1$$

- Quantité de matière de diiode I_2 (aq) versé à l'équivalence :

$$- n_E (I_2) = C_2 \cdot V_E$$

- Tableau d'avancement :

Équation		I_2 (aq) +	$C_6H_8O_6$ (aq)	→	$2 I^-$ (aq)	+ $C_6H_6O_6$ (aq)	+ 2 H^+ (aq)
Etat	Avanc. x (mol)	$n(I_2)$ (mol)	$n(C_6H_8O_6)$ (mol)		$n(I^-)$ (mol)	$n(C_6H_6O_6)$ (mol)	$n(H^+)$ (mol)
État initial à l'équivalence (mol)	0	$n_E(I_2)$ $= C_2 \cdot V_E$	$n_1(C_6H_8O_6)$ $= C_1 \cdot V_1$		0	0	0
Au cours de la transformation	x	$C_2 \cdot V_E - x$	$n_1(C_6H_8O_6) - x$		$2x$	x	$2x$
État final à Équivalence	$x_{max} = x_E$	$C_2 \cdot V_E - x_E$ 0 $C_2 \cdot V_E = x_E$	$n_1(C_6H_8O_6) - x_E$ 0 $C_1 \cdot V_1 = x_E$		$2x_{max}$ $2x_{max}$	x_{max} x_{max}	$2x_{max}$ $2x_{max}$

$$- n_1 (C_6H_8O_6) = n_E (I_2)$$

2. Expression et calcul de la quantité de matière n_1 ($C_6H_8O_6$) de vitamine C

contenue dans l'ampoule.

- $n_1 (\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6) = n_E (\text{I}_2) = C_2 \cdot V_E$

- $n_1 (\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6) = 2,0 \times 10^{-3} \times 15,1 \times 10^{-3}$

- $n_1 (\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6) \approx 3,02 \times 10^{-5} \text{ mol}$

- $n_1 (\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6) \approx 3,0 \times 10^{-5} \text{ mol}$

3. Concentration C_1 en vitamine C de la solution dans l'ampoule.

- Une méthode pour retrouver la relation :

Équation de titrage	$\text{I}_2 (\text{aq}) + \text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6 (\text{aq}) \rightarrow \dots$		
Quantités de matières à l'équivalence	$C_2 \cdot V_E$	$C_1 \cdot V_1$...
Coefficients stœchiométriques	1	1	...
Relation	$\frac{C_2 \cdot V_E}{1} = \frac{C_1 \cdot V_1}{1}$...

- $\frac{C_2 \cdot V_E}{1} = \frac{C_1 \cdot V_1}{1}$

$C_1 = \frac{1}{1} \cdot C_2 \cdot \frac{V_E}{V_1} = 2,0 \times 10^{-3} \times \frac{15,1}{10,0}$

$C_1 \approx 3,02 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

- $C_1 \approx 3,0 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

3)- Exercice 9 page 74 : Dosage du dioxyde de soufre dans le vin :

Dosage du dioxyde de soufre dans le vin :

La concentration en masse de dioxyde de soufre dans un vin blanc ne doit pas excéder $210 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

Pour vérifier la conformité de la concentration en dioxyde de soufre d'un vin blanc, on utilise une solution titrante de concentration

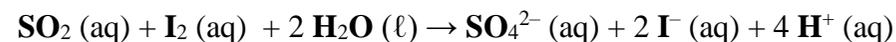
$C_1 = 7,80 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ en diiode.

Dans un erlenmeyer, on verse un volume $V_2 = 25,0 \text{ mL}$ de vin blanc.

On ajoute 2 mL d'acide sulfurique pour acidifier le milieu.

Lors du titrage du vin blanc, l'équivalence est obtenue après avoir versé

un volume $V_E = 6,1 \text{ mL}$ de solution titrante. La réaction support du titrage s'écrit :



Ce vin est-il conforme à la législation ?

Énoncé détaillé

1. Identifier les réactifs titrant et titré.

2. Établir une relation entre la quantité de matière initiale $n_0 (\text{SO}_2)$ de

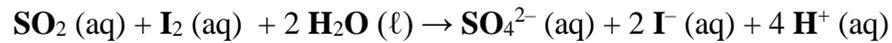
dioxyde de soufre et la quantité de diiode $n_E (\text{I}_2)$ versée à l'équivalence du titrage.

3. Déterminer la concentration en quantité de matière de dioxyde de soufre dans ce vin blanc.

4. Ce vin est-il conforme à la législation ? Justifier.

- Donnée : $M(\text{SO}_2) = 64,1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Dosage du dioxyde de soufre dans le vin :



1. Identification des réactifs titrant et titré.

- Le réactif titré : le vin blanc :

- Volume : $V_2 = 25,0 \text{ mL}$

- Concentration à déterminer : $C_2 = ?$

- Le réactif titrant : solution aqueuse de diiode $\text{I}_2(\text{aq})$:

- Volume versé à l'équivalence : $V_E = 6,1 \text{ mL}$

- Concentration connue : $C_1 = 7,80 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

2. Relation entre la quantité de matière initiale $n_0(\text{SO}_2)$ de dioxyde de soufre

et la quantité de diiode $n_E(\text{I}_2)$ versée à l'équivalence du titrage.

- L'équivalence :

- Il y a équivalence lorsque les réactifs ont été mélangés dans les proportions stœchiométriques de la réaction.

- C'est-à-dire lorsqu'on a réalisé un mélange stœchiométrique des réactifs titré et titrant.

- Les deux réactifs de la réaction sont alors totalement consommés.

- Quantité de matière initiale $n_0(\text{SO}_2)$ de dioxyde de soufre :

$$n_0(\text{SO}_2) = C_2 \cdot V_2$$

- Quantité de matière $n_E(\text{I}_2)$ de diiode versé à l'équivalence :

$$n_E(\text{I}_2) = C_1 \cdot V_E$$

- Tableau d'avancement :

Équation		$\text{I}_2(\text{aq})$ +	SO_2 (aq)	→	2I^- (aq)	+ $\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_6$ (aq)	+ 2H^+ (aq)
Etat	Avanc. x (mol)	$n(\text{I}_2)$ (mol)	$n(\text{SO}_2)$ (mol)		$n(\text{I}^-)$ (mol)	$n(\text{SO}_4^{2-})$ (mol)	excès
État initial à l'équivalence (mol)	0	$n_E(\text{I}_2)$ $= C_1 \cdot V_E$	$n_0(\text{SO}_2)$ $= C_2 \cdot V_2$		0	0	
Au cours de la transformation	x	$C_1 \cdot V_E - x$	$n_0(\text{SO}_2) - x$		$2x$	x	
État final	$x_{\text{max}} = x_E$	$C_1 \cdot V_E - x_E$ 0	$n_0(\text{SO}_2) - x_E$ 0		$2x_{\text{max}}$	x_{max}	

à		$C_1 \cdot V_E$ = x_E	$C_2 \cdot V_2$ = x_E		$2 x_{max}$	x_{max}	
Équivalence							

- Relation : $C_1 \cdot V_E = C_2 \cdot V_2$

3. Concentration C_2 en quantité de matière de dioxyde de soufre dans ce vin blanc.

$$\frac{C_1 \cdot V_E}{1} = \frac{C_2 \cdot V_2}{1}$$

$$C_2 = C_1 \cdot \frac{V_E}{V_2} = 7,80 \times 10^{-3} \times \frac{6,1}{25,0}$$

$$C_2 \approx 1,90 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$C_2 \approx 1,9 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

4. Conformité du vin blanc à la législation :

- pour 1,0 L de vin blanc :

$$n_0(\text{SO}_2) \approx 1,9 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

- Masse de dioxyde de soufre dans 1,0 L de vin blanc :

$$m(\text{SO}_2) = n_0(\text{SO}_2) \cdot M(\text{SO}_2) = 1,9 \times 10^{-3} \times 64,1$$

$$m(\text{SO}_2) = C_2 \cdot V = 1,9 \times 10^{-3} \times 64,1$$

$$m(\text{SO}_2) \approx 0,12 \text{ g}$$

$$m(\text{SO}_2) \approx 120 \text{ mg}$$

- Ce vin blanc est conforme à la législation : $m(\text{SO}_2) < 210 \text{ mg}$

4)- Exercice 12 page 75 : Titration colorimétrique de l'eau oxygénée :

Titration colorimétrique de l'eau oxygénée :

On souhaite déterminer la concentration C_0 en quantité de matière de peroxyde d'hydrogène dans une solution commerciale S_0 d'eau oxygénée à « 10 volumes » incolore. La réaction support du titrage est la réaction entre les ions permanganate MnO_4^- (aq) et le peroxyde d'hydrogène H_2O_2 (aq).

On dilue 10 fois la solution S_0 , on obtient une solution S_1 .

On dose un volume $V_1 = 10,0 \text{ mL}$ de la solution S_1 par une solution S_2 de permanganate de potassium de concentration $C_2 = 0,020 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ en ion permanganate.

Le volume versé à l'équivalence est $V_E = 17,6 \text{ mL}$.

1. Écrire et ajuster l'équation de la réaction support du dosage.

2. Le titrage :

a. Schématiser et légender le dispositif de titrage.

b. Expliquer comment est repérée visuellement l'équivalence du titrage.

3. Écrire la relation à l'équivalence du titrage et en déduire l'expression de la concentration C_1 en peroxyde d'hydrogène de la solution S_1 .

4. Calculer les valeurs des concentrations C_1 puis C_0 .

5. En déduire la quantité $n_0(\text{H}_2\text{O}_2)$ de peroxyde d'hydrogène présente dans un litre de solution commerciale S_0 .

6. L'eau oxygénée étudiée est dite à « 10 volumes ». cela signifie qu'un litre de solution peut libérer 10 L de dioxygène selon l'équation de la réaction :



- Calculer la quantité de matière maximale $n_{\text{max}} (\text{O}_2)$ de dioxygène libéré par un litre de solution S_0 .

7. Dans les conditions de l'expérience, le volume molaire vaut

$$V_m = 22,4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}.$$

En déduire le volume maximal de dioxygène $V_{\text{max}} (\text{O}_2)$ libéré par un litre de solution S_0 .

8. Comparer ce résultat à la valeur indiquée par le fabricant en faisant le calcul d'écart relatif. Conclure.

- Données :

- Couples oxydant / réducteur :

- $\text{MnO}_4^- (\text{aq}) / \text{Mn}^{2+} (\text{aq})$ et $\text{O}_2 (\text{aq}) / \text{H}_2\text{O}_2 (\text{aq})$.

- Les ions permanganate $\text{MnO}_4^- (\text{aq})$ donnent une couleur violette à la solution qui les contient.

- Le contrôle de qualité est considéré comme satisfaisant si l'écart relatif est inférieur à 5 %.

$$r = \frac{|V_{\text{max mesuré}} - V_{\text{max référence}}|}{V_{\text{max référence}}}$$

- Écart relatif :

Titrage colorimétrique de l'eau oxygénée :

- **Réactif titré :**

- Solution S_1 de peroxyde d'hydrogène $\text{H}_2\text{O}_2 (\text{aq})$.

- Volume de la solution : $V_1 = 10,0 \text{ mL}$

- Concentration de la solution : $C_1 = ?$ (à déterminer)

- **Réactif titrant :**

- Solution S_2 de permanganate de potassium, $\text{MnO}_4^- (\text{aq})$

- Concentration de la solution : $C_2 = 0,020 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

- Volume versé à l'équivalence est $V_E = 17,6 \text{ mL}$

1. Équation de la réaction support du dosage.

- Couple $\text{MnO}_4^- (\text{aq}) / \text{Mn}^{2+} (\text{aq})$:

- On peut retrouver les demi-équations électroniques :

$\text{MnO}_4^- (\text{aq}) / \text{Mn}^{2+} (\text{aq})$	Demi-équation électronique
Première étape : On écrit le couple oxydant / réducteur	$\text{MnO}_4^- (\text{aq}) \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+} (\text{aq})$
Deuxième étape :	$\text{MnO}_4^- (\text{aq}) \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+} (\text{aq}) + 4 \text{H}_2\text{O} (\ell)$

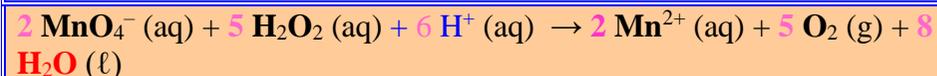
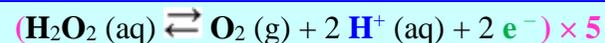
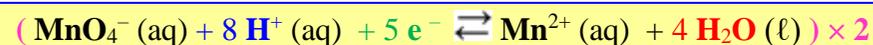
On équilibre l'élément oxygène avec de l'eau	
Troisième étape : On équilibre l'élément hydrogène avec H^+ (on travaille en milieu acide)	$\text{MnO}_4^- (\text{aq}) + 8 \text{H}^+ (\text{aq}) \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+} (\text{aq}) + 4 \text{H}_2\text{O} (\ell)$
Quatrième étape : On équilibre les charges avec les électrons.	$\text{MnO}_4^- (\text{aq}) + 8 \text{H}^+ (\text{aq}) + 5 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+} (\text{aq}) + 4 \text{H}_2\text{O} (\ell)$

- Couple $\text{O}_2 (\text{aq}) / \text{H}_2\text{O}_2 (\text{aq})$:

	Demi-équation électronique
$\text{O}_2 (\text{g}) / \text{H}_2\text{O}_2 (\text{aq})$	
Première étape : On écrit le couple oxydant / réducteur	$\text{O}_2 (\text{g}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}_2 (\text{aq})$
Troisième étape : On équilibre l'élément hydrogène avec H^+ (on travaille en milieu acide)	$\text{O}_2 (\text{g}) + 2 \text{H}^+ (\text{aq}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}_2 (\text{aq})$
Quatrième étape : On équilibre les charges	$\text{O}_2 (\text{g}) + 2 \text{H}^+ (\text{aq}) + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}_2 (\text{aq})$

avec les électrons.

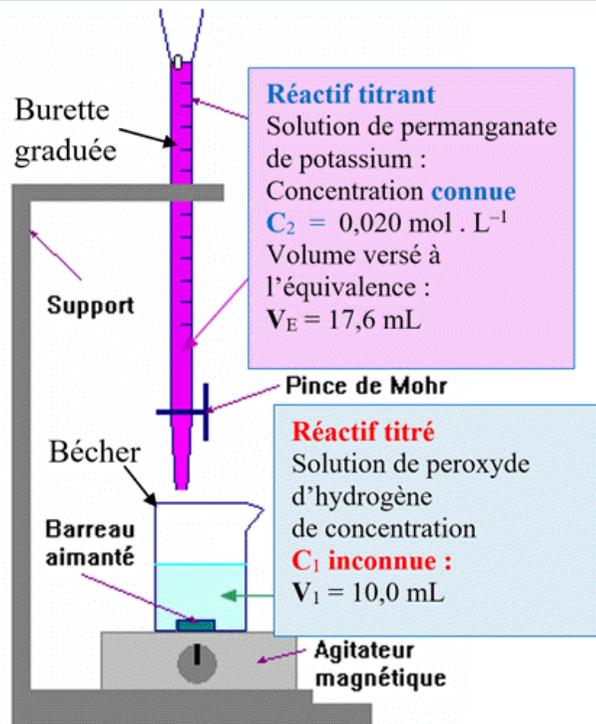
- Équation bilan de la réaction :
- On utilise une solution acidifiée de permanganate de potassium.
- Les ions hydrogène H^+ (aq) sont introduits en excès.



2. Le titrage :

a. Le dispositif de titrage.

- Montage :



b. Repérage visuel de l'équivalence du titrage.

- La seule espèce colorée est l'ion permanganate MnO_4^- (aq) qui donne une couleur violette à la solution qui les contient.
- Avant l'équivalence, l'ion permanganate est le réactif limitant.
- Le mélange réactionnel est incolore.
- À l'équivalence, les réactifs sont mélangés dans les proportions stœchiométriques et sont totalement consommés. Il y a changement de réactif limitant.
- Le mélange réactionnel est toujours incolore.
- Après l'équivalence, le réactif titré est le réactif limitant.

- L'ion permanganate est en excès et colore le mélange réactionnel en rose.
 - On repère l'équivalence grâce à ce changement de couleur.
3. Relation à l'équivalence du titrage et l'expression de la concentration C_1 en peroxyde d'hydrogène de la solution S_1 .
- Cette relation fait intervenir les réactifs : MnO_4^- (aq) et H_2O_2 (aq)
 - Une méthode pour retrouver la relation :
 - On tient compte du fait que les ions H^+ (aq) sont en excès

Équation de titrage	2MnO_4^- (aq) + $5 \text{H}_2\text{O}_2$ (aq) → ...		
Quantités de matières à l'équivalence	$n_E(\text{MnO}_4^-) = C_2 \cdot V_E$	$n_0(\text{H}_2\text{O}_2) = C_1 \cdot V_1$...
Coefficients stœchiométriques	2	5	...
Relation	$\frac{C_2 \cdot V_E}{2} = \frac{C_1 \cdot V_1}{5}$...

$$\frac{C_1 \cdot V_1}{5} = \frac{C_2 \cdot V_E}{2}$$

$$C_1 = \frac{5}{2} \cdot C_2 \cdot \frac{V_E}{V_1}$$

4. Valeurs des concentrations C_1 puis C_0 .

- Valeur de la concentration C_1 :

$$C_1 = \frac{5}{2} \cdot C_2 \cdot \frac{V_E}{V_1} = \frac{5}{2} \times 0,020 \times \frac{17,6}{10,0}$$

$$C_1 \approx 8,8 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

- Valeur de la concentration C_0 :

- On dilue 10 fois la solution S_0 , on obtient une solution S_1 :

$$C_0 = 10 C_1$$

$$C_0 \approx 0,88 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

5. Quantité n_0 (H_2O_2) de peroxyde d'hydrogène présente dans un litre de solution commerciale S_0 .

$$n_0(\text{H}_2\text{O}_2) = C_0 \cdot V \approx 0,88 \times 1,0$$

$$n_0(\text{H}_2\text{O}_2) \approx 0,88 \text{ mol}$$

6. Quantité de matière maximale n_{max} (O_2) de dioxygène libéré par un

litre de solution S_0 .

- Réaction chimique mise en jeu :



- Tableau d'avancement : en considérant que la réaction est totale : $x_f = x_{\text{max}}$

Équation		$2 \text{H}_2\text{O}_2 (\text{aq})$	\rightarrow	$\text{O}_2 (\text{aq}) +$	$2 \text{H}_2\text{O} (\text{aq})$
État du système	Avanc.	$n(\text{H}_2\text{O}_2)$ (mol)		$n(\text{O}_2)$ (mol)	Solvant
État initial (mmol)	$x = 0$	$n_0 \approx 0,88$		0	

État intermédiaire	x	$0,88 - 2x$		x	
État Final (mmol)	$x_f = x_{\text{max}}$	$0,88 - 2x_{\text{max}}$		x_{max}	
	$x_f = x_{\text{max}}$	0		0,44	

- Valeur de l'avancement maximal :

$$0,88 - 2x_{\text{max}} = 0 \Rightarrow x_{\text{max}} \approx 0,44 \text{ mol}$$

- Quantité de matière maximale n_{max} (O_2) de dioxygène libéré :

$$n_{\text{max}}(\text{O}_2) = x_{\text{max}} \approx 0,44 \text{ mol}$$

7. Volume maximal de dioxygène V_{max} (O_2) libéré par un litre de solution S_0

- Le volume molaire : $V_m = 22,4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$.

- Volume maximal de dioxygène V_{max} (O_2) libéré :

$$V_{\text{max}}(\text{O}_2) = n_{\text{max}}(\text{O}_2) \cdot V_m$$

$$V_{\text{max}}(\text{O}_2) \approx 0,44 \times 22,4$$

$$V_{\text{max}}(\text{O}_2) \approx 9,856 \text{ L}$$

$$V_{\text{max}}(\text{O}_2) \approx 9,9 \text{ L}$$

8. Valeur de l'écart relatif et conclusion :

- Écart relatif :

- L'eau oxygénée étant à « 10 volumes », un litre de solution libère 10 L de dioxygène dans les mêmes conditions de température et de pression.

$$r = \frac{|V_{\text{max mesuré}} - V_{\text{max référence}}|}{V_{\text{max référence}}}$$

$$r \approx \frac{|9,9 - 10|}{10}$$

$$r \approx 1 \%$$

- $r \approx 1 \% < 5 \%$

- le contrôle de qualité est satisfaisant.

n_{excès} (I₂). Le diiode restant est titré par une solution de thiosulfate de sodium.

- On presse deux oranges : on obtient un volume $V_0 = 88,0$ mL de jus de fruit.

- Dans un erlenmeyer, on verse un volume $V_1 = 10,0$ mL de jus de fruit.

- On ajoute dans l'erlenmeyer un volume $V_2 = 15,0$ mL d'une solution de concentration $C_2 = 4,70 \times 10^{-3}$ mol . L⁻¹ en diiode.

- Le diiode restant est dosé par une solution de thiosulfate de sodium de concentration $C_3 = 5,00 \times 10^{-3}$ mol . L⁻¹ en ions thiosulfate $S_2O_3^{2-}$ (aq).

- Le volume versé à l'équivalence du titrage est $V_E = 13,0$ mL.

- Données :

- Couples Oxydant / réducteur : $C_6H_6O_6$ (aq) / $C_6H_8O_6$ (aq)

- I_2 (aq) / I^- (aq) ; $S_4O_6^{2-}$ (aq) / $S_2O_3^{2-}$ (aq)

- Masse molaire de la vitamine C : $M = 176,0$ g . mol⁻¹

- La réaction entre la vitamine C et le diiode est totale.

5)- Exercice 15 page 76 : Titrage indirect de la vitamine C :

Titrage indirect de la vitamine C :

- Comparer la masse de vitamine C contenue dans un jus de fruit à celle d'un comprimé.

A. La vitamine C.

- La vitamine C, de formule $C_6H_8O_6$, est le nom donné à l'acide ascorbique.

La vitamine C est synthétisée par de nombreux êtres vivants, mais pas par

l'être humain qui doit la trouver dans son alimentation, notamment dans les fruits.

Un comprimé de « vitamine C 500 » contient 500 mg de vitamine C.

B. Principe du dosage indirect de la vitamine C.

- Une quantité n_1 de vitamine C réagit avec une quantité connue de diiode en excès

Titrage indirect de la vitamine C :

- Comparer la masse de vitamine C contenue dans un jus de fruit à celle d'un comprimé.

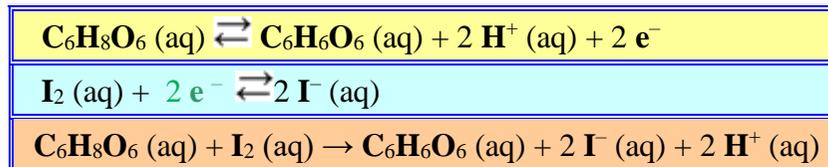
- Un résumé de la situation :

1)- Première étape : réaction entre la vitamine C et le diiode en excès :

- Une quantité n_1 de vitamine C réagit avec une quantité connue de diiode en excès $n_{\text{excès}}(\text{I}_2)$:
- La vitamine C du jus de fruit : $V_0 = 88,0 \text{ mL}$
- On utilise le volume $V_1 = 10,0 \text{ mL}$ de jus de fruit.
- La solution de diiode :
- Concentration de la solution de diiode :
- $C_2 = 4,70 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$
- $V_2 = 15,0 \text{ mL}$
- Quantité de matière de diiode en excès $n_{\text{excès}}(\text{I}_2)$:
- $n_{\text{excès}}(\text{I}_2) = C_2 \cdot V_2$
- Équation de la réaction :
- Les couples mis en jeu : $\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_6(\text{aq}) / \text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6(\text{aq})$ et $\text{I}_2(\text{aq}) / \text{I}^-(\text{aq})$
- Demi-équation électroniques :

$\text{I}_2(\text{aq}) / \text{I}^-(\text{aq})$	Demi-équation électronique
Première étape :	
On écrit le couple oxydant / réducteur	$\text{I}_2(\text{aq}) \rightleftharpoons 2 \text{I}^-(\text{aq})$
Quatrième étape :	
On équilibre les charges avec les électrons.	$\text{I}_2(\text{aq}) + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons 2 \text{I}^-(\text{aq})$

$\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_6(\text{aq}) / \text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6(\text{aq})$	Demi-équation électronique
Première étape :	
On écrit le couple oxydant / réducteur	$\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_6(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6(\text{aq})$
Troisième étape :	
On équilibre l'hydrogène avec H^+	$\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_6(\text{aq}) + 2 \text{H}^+(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6(\text{aq})$
Quatrième étape :	
On équilibre les charges avec les électrons.	$\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_6(\text{aq}) + 2 \text{H}^+(\text{aq}) + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6(\text{aq})$



- Tableau d'avancement :
- La réaction entre la vitamine C et le diiode est totale : $x_f = x_{\text{max}}$
- Le diiode est en excès, la vitamine C est le réactif limitant :

- En fin de réaction :

$$- n_1 - x_{\max} = 0 \Rightarrow x_{\max} = n_1$$

Équation		$C_6H_8O_6 + I_2 \rightarrow C_6H_6O_6 + 2 I^- + 2 H^+$ (aq) (aq) (aq) (aq) (aq)					
État du système	Avancement	$n(C_6H_8O_6)$ (mol)	$n(I_2)$ (mol)		$n(C_6H_6O_6)$ (mol)	$n(I^-)$ (mol)	$n(H^+)$ (mol)
État initial (mol)	$x = 0$	n_1	$n_{\text{excès}}(I_2)$				
État intermédiaire	x	$n_1 - x$	$n_{\text{excès}}(I_2) - x$				
État final (mol)	$x_f = x_{\max}$	$n_1 - x_{\max}$	$n_{\text{excès}}(I_2) - x_{\max}$				
	$x_f = x_{\max} = n_1$	0	$n_{\text{excès}}(I_2) - n_1$				

- Connaissant l'expression de l'avancement maximal, on peut en déduire,

l'expression de la quantité de matière de diiode restant :

$$- n_{\text{restant}}(I_2) = n_{\text{excès}}(I_2) - n_1$$

2)- Le dosage du diiode restant :

- Le diiode restant est dosé par une solution de thiosulfate de sodium :

- **Réactif titré** : le diiode restant

$$- n_{\text{restant}}(I_2) = n_{\text{excès}}(I_2) - n_1$$

- **Le réactif titrant** : Solution de thiosulfate de sodium

- Concentration en ions thiosulfate $S_2O_3^{2-}(aq)$:

$$- C_3 = 5,00 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot L^{-1}$$

- Volume versé à l'équivalence du titrage :

$$- V_E = 13,0 \text{ mL.}$$

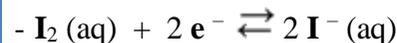
- Quantité de matière d'ions thiosulfate $S_2O_3^{2-}(aq)$ correspondante :

$$- n_3 = C_3 \cdot V_E$$

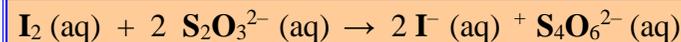
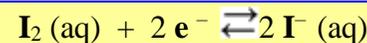
- Équation de la réaction :

- Les couples mis en jeu : $I_2(aq) / I^-(aq)$; $S_4O_6^{2-}(aq) / S_2O_3^{2-}(aq)$

- Les demi-équations électroniques :



- Équation de la réaction :



- Tableau d'avancement : la réaction est totale (réaction de titrage)

Équation	$I_2(aq)$	+ $2 S_2O_3^{2-}(aq)$	\rightarrow	$2 I^-(aq)$	+ $S_4O_6^{2-}(aq)$

État du système	Avanc.	$n(I_2)$	$n(S_2O_3^{2-})$	$n(I^-)$	$n(S_4O_6^{2-})$
État initial à l'équivalence	$x = 0$	$n_{\text{restant}}(I_2)$	$n_3 = C_3 \cdot V_E$	0	0
État intermédiaire	x	$n_{\text{restant}}(I_2) - x$	$n_3 - 2x$	$2x$	x
État final à l'équivalence (mol)	$x_f = x_{\text{max}}$	$n_{\text{restant}}(I_2) - x_{\text{max}}$	$n_3 - 2x_{\text{max}}$	$2x_{\text{max}}$	x_{max}
		0	0		

- à l'équivalence; on est en présence d'un mélange stœchiométrique.

- Un mélange initial est dit stœchiométrique si les quantités de matières initiales des réactifs sont

dans les proportions des nombres stœchiométriques de l'équation de la réaction :

- Les quantités de matières initiales des réactifs vérifient la relation suivante :

$$-\frac{n_{\text{restant}}(I_2)}{1} = \frac{n_3}{2}$$

3)- Exploitation des résultats :

$$- n_{\text{restant}}(I_2) = n_{\text{excès}}(I_2) - n_1 \Rightarrow n_1 = n_{\text{excès}}(I_2) - n_{\text{restant}}(I_2)$$

$$- n_1 = C_2 \cdot V_2 - n_{\text{restant}}(I_2)$$

- D'autre part :

$$-\frac{n_{\text{restant}}(I_2)}{1} = \frac{n_3}{2} \text{ et } n_3 = C_3 \cdot V_E$$

$$-\frac{n_{\text{restant}}(I_2)}{1} = \frac{n_3}{2}$$

$$- n_{\text{restant}}(I_2) = \frac{C_3 \cdot V_E}{2}$$

- On tire :

$$n_1 = C_2 \cdot V_2 - \frac{C_3 \cdot V_E}{2}$$

$$n_1 = 4,70 \times 10^{-3} \times 15,0 \times 10^{-3} - \frac{5,00 \times 10^{-3} \times 13,0 \times 10^{-3}}{2}$$

$$- n_1 \approx 3,80 \times 10^{-5} \text{ mol}$$

- Ceci dans 10,0 mL de jus de fruit :

- On presse deux oranges : on obtient un volume $V_0 = 88,0$ mL de jus de fruit.

- Quantité de matière n de vitamine C dans le volume V_0 :

$$n = n_1 \cdot \frac{88,0}{10,0} = 3,80 \times 10^{-5} \times \frac{88}{10,0}$$

$$- n \approx 3,24 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

- Masse de m vitamine C correspondante :

$$- m = n \cdot M \approx 3,24 \times 10^{-4} \times 176,0$$

$$- m \approx 5,88544 \times 10^{-2} \text{ g}$$

$$- m \approx 5,89 \times 10^{-2} \text{ g}$$

$$- m \approx 58,9 \text{ mg}$$

- À comparer avec un comprimé de « vitamine C 500 » qui contient 500 mg de vitamine C.
- Il faut boire le jus de 17 oranges environ pour obtenir la même quantité de vitamine C qu'un comprimé de « vitamine C 500 ».
- Ce qui fait environ 0,75 L de jus d'orange.

6)- Exercice 16 page 76 : Titrage du paracétamol :

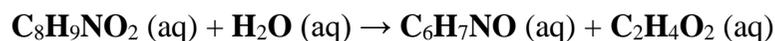
Titrage du paracétamol :

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL PHYSIQUE-CHIMIE

Pour vérifier par titrage, la masse de paracétamol contenue dans un comprimé de Doliprane®, on réalise une hydrolyse du paracétamol en para-aminophénol puis on dose le para-aminophénol par les ions cérium (IV) Ce^{4+} (aq).

A. Hydrolyse du paracétamol en para-aminophénol

- On hydrolyse le paracétamol $\text{C}_8\text{H}_9\text{NO}_2$ (aq) contenu dans un comprimé de Doliprane®.
- L'équation de la réaction, considérée comme totale, s'écrit :



- On obtient du para-aminophénol $\text{C}_6\text{H}_7\text{NO}$ (aq).
- On verse la solution obtenue dans une fiole jaugée de 100,0 mL et on complète jusqu'au

trait de jauge avec de l'eau distillée. Soit S_1 la solution obtenue, on note C_1 la concentration

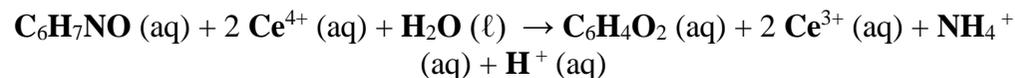
en quantité de matière de para-aminophénol dans S_1 .

B. Titrage du para-aminophénol.

- On dose un volume $\text{V}_1 = 10,00 \pm 0,05$ mL de solution S_1 par une solution titrante S_2 de concentration $\text{C}_2 = (5,00 \pm 0,01) \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ en ions cérium (IV) Ce^{4+} (aq).

- Le volume versé à l'équivalence est $\text{V}_E = 13,1 \pm 0,1$ mL.

- L'équation de la réaction support du titrage s'écrit :



1. Avec quelle verrerie de précision mesure-t-on le volume V_1 de la solution S_1 ?
2. Écrire la relation à l'équivalence du titrage et en déduire la concentration C_1 en para-aminophénol de la solution S_1 .
3. Identifier quelques sources d'erreurs lors du titrage.
4. L'incertitude type $\mathbf{u}(\text{C}_1)$ sur la concentration C_1 est donnée par la relation :

$$\mathbf{u}(\text{C}_1) = \text{C}_1 \times \sqrt{\left(\frac{\mathbf{u}(\text{C}_2)}{\text{C}_2}\right)^2 + \left(\frac{\mathbf{u}(\text{V}_E)}{\text{V}_E}\right)^2 + \left(\frac{\mathbf{u}(\text{V}_1)}{\text{V}_1}\right)^2}$$

- Avec $\mathbf{u}(\text{C}_2)$, $\mathbf{u}(\text{V}_E)$ et $\mathbf{u}(\text{V}_1)$ respectivement les incertitudes types sur C_1 , V_E et V_1 .

- Calculer $u(C_1)$ et exprimer la concentration C_1 sous forme : $C_1 \pm u(C_1)$

5. En déduire la quantité de matière n_1 de para-aminophénol dans la solution S_1 .

6. Justifier que la quantité de paracétamol dans un comprimé est égale à la quantité n_1 .

7. En utilisant les résultats du titrage, déterminer la masse m de paracétamol contenu

dans le comprimé de Doliprane®. Conclure.

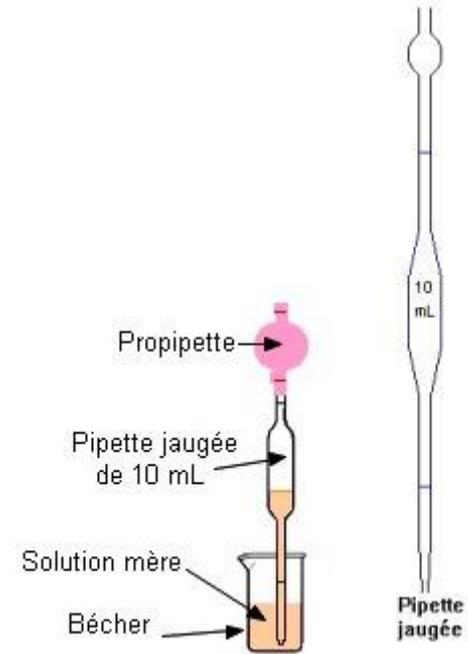
- Donnée :

- $M(\text{paracétamol}) = 151,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Titrage du paracétamol :

1. Verrerie de précision pour mesurer le volume V_1 de la solution S_1 :

- Pipette jaugée de 10,0 mL, munie de sa propipette.



2. Relation à l'équivalence du titrage et concentration C_1 en para-aminophénol de la solution S_1 .

- **Réactif titré** : Solution S_1 de para-aminophénol.

- Volume de la solution : $V_1 = 10,00 \pm 0,05 \text{ mL}$

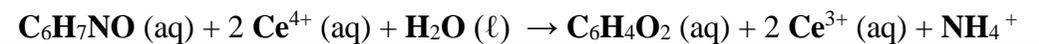
- Concentration de la solution en para-aminophénol : C_1 (inconnue)

- **Réactif titrant** : Solution titrante S_2 en ions cérium (IV) $\text{Ce}^{4+}(\text{aq})$.

- Concentration : $C_2 = (5,00 \pm 0,01) \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

- Le volume versé à l'équivalence : $V_E = 13,1 \pm 0,1 \text{ mL}$.

- L'équation de la réaction support du titrage :





- À l'équivalence du titrage, on a réalisé un mélange stœchiométrique des réactifs titrant et titré.

- La relation à l'équivalence du titrage s'écrit :

Équation de titrage	1 $\text{C}_6\text{H}_7\text{NO}(\text{aq}) + 2 \text{Ce}^{4+}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\ell) \rightarrow \dots$			
Quantités de matières à l'équivalence	$n_1 = C_1 \cdot V_1$	$n_E = C_2 \cdot V_E$	Excès	...
Coefficients stœchiométriques	1	2		...
Relation	$\frac{n_1}{1} = \frac{n_E}{2}$...

- Concentration C_1 en para-aminophénol de la solution S_1 .

$$\frac{n_1}{1} = \frac{n_E}{2}$$

$$C_1 \cdot V_1 = \frac{C_2 \cdot V_E}{2}$$

$$C_1 = C_2 \cdot \frac{V_E}{2 V_1}$$

- Application numérique :

$$C_1 = C_2 \cdot \frac{V_E}{2 V_1} = 5,00 \times 10^{-2} \times \frac{13,1}{2 \times 10,0}$$

$$C_1 \approx 3,275 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$C_1 \approx 3,28 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

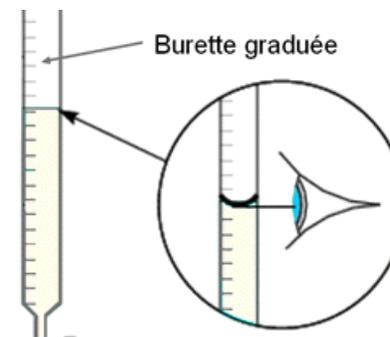
3. Sources d'erreurs lors du titrage :

- Erreur lors du prélèvement du volume V_1 de la solution S_1 .

- Erreur sur la valeur de la concentration C_2 de la solution titrante S_2

en ions cérium (IV) $\text{Ce}^{4+}(\text{aq})$.

- Repérage de l'équivalence : erreur de lecture du volume à la burette graduée.



- Mauvais repérage de l'équivalence :

- On peut faire un premier titrage rapide pour connaître V_E au millilitre,

- puis un titrage plus précis pour connaître V_E à la goutte près.

4. Calcul de $u(C_1)$ et expression de concentration C_1 :

$$u(C_1) = C_1 \times \sqrt{\left(\frac{u(C_2)}{C_2}\right)^2 + \left(\frac{u(V_E)}{V_E}\right)^2 + \left(\frac{u(V_1)}{V_1}\right)^2}$$

$$u(C_1) = 3,28 \times 10^{-2} \times \sqrt{\left(\frac{0,01 \times 10^{-2}}{5,00 \times 10^{-2}}\right)^2 + \left(\frac{0,1}{13,1}\right)^2 + \left(\frac{0,05}{10,00}\right)^2}$$

$$u(C_1) \approx 3,06 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$u(C_1) \approx 3 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

- Expression du type : $C_1 \pm u(C_1)$:

$$C_1 = (3,28 \pm 0,03) \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

5. Quantité de matière n_1 de para-aminophénol dans la solution S_1 .

- Le volume de la solution S_1 est $V_{S1} = 100,0 \text{ mL}$

$$n_1 = C_1 \cdot V_{S1} \approx 3,28 \times 10^{-2} \times 100,0 \times 10^{-3}$$

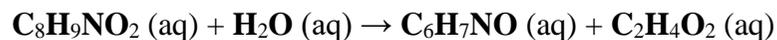
$$n_1 \approx 3,28 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

6. Quantité de paracétamol dans un comprimé.

- Le para-aminophénol a été obtenu à partir de la réaction d'hydrolyse du paracétamol :

- La réaction d'hydrolyse est la suivante :

- L'équation de la réaction, considérée comme totale, s'écrit :



- D'après les coefficients stœchiométriques, il se forme autant de para-aminophénol qu'il disparaît de paracétamol :

$$n(\text{paracétamol}) = n_1 \approx 3,28 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

7. Masse m de paracétamol contenu dans le comprimé de Doliprane® et Conclusion :

$$m = n(\text{paracétamol}) \cdot M(\text{paracétamol})$$

$$m \approx 3,28 \times 10^{-3} \times 151,0$$

$$m \approx 0,495 \text{ g}$$

$$m \approx 495 \text{ mg}$$

- Il s'agit certainement d'une gélule de Doliprane 500 mg.

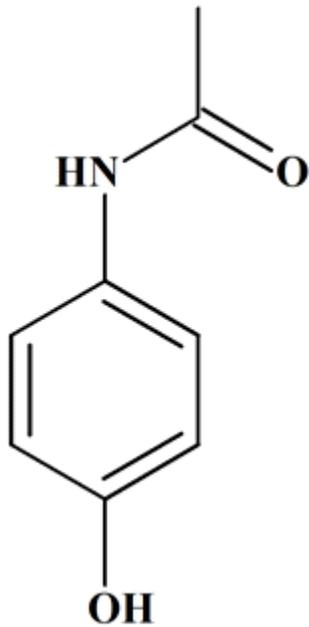
- Additif :

- Paracétamol :

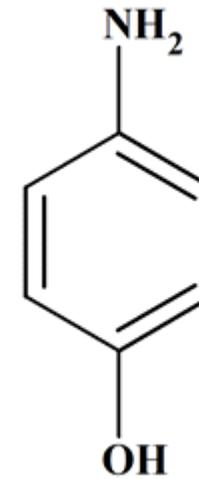
- Formule brute : $\text{C}_8\text{H}_9\text{NO}_2$

- Masse molaire : $M(\text{paracétamol}) = 151,2 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

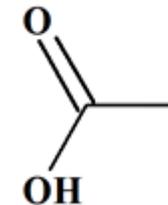
- Formule topologique :



- Para-aminophénol : (4-aminophénol)
- Formule brute : **C₆H₇NO**
- Masse molaire : **M** (para-aminophénol) = 109,1 g . mol⁻¹
- Formule topologique :



- Acide éthanoïque : (acide acétique) :
- Formule brute : **CH₃COOH**
- Masse molaire : **M** (CH₃COOH) = 60,1 g . mol⁻¹
- Formule topologique :



- Réaction d'hydrolyse du paracétamol :

