

Suivi temporel d'une transformation chimique

I. Etude cinétique d'une transformation : suivi par un capteur de pression.

1. Equation associée à la réaction entre le magnésium et l'acide chlorhydrique.



2. Objectifs.

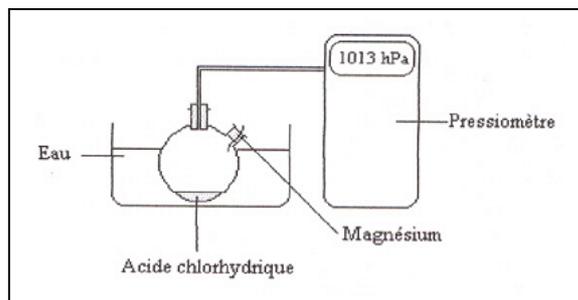
- suivre l'avancement $x(t)$ de la réaction à l'aide d'un capteur de pression.
- établir la relation entre l'avancement $x(t)$ de la réaction et la surpression Δp dans le ballon.
- déterminer :
 - o l'avancement maximal x_{max} de la réaction.
 - o La valeur du temps demi-réaction.
 - o La valeur de la vitesse volumique à une date donnée.

3. Description de l'expérience.

On introduit dans un ballon bicol de 250 mL relié à un pressiomètre :

- o 50,0 mL d'acide chlorhydrique de concentration molaire $c = 5,0 \times 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$
 - o 0,020 g Magnésium (ruban) bien décapé. (le morceau de magnésium est maintenu par le bouchon de telle manière qu'il puisse tomber au fond du ballon après une petite secousse.
- $M(\text{Mg}) = 24,3 \text{ g.mol}^{-1}$

On relève la valeur de la pression toutes les 30 secondes pendant 10 min.



Résultats expérimentaux :

$t(\text{s})$	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
$P(\text{hPa})$	1013	1025	1033	1044	1051	1068	1079	1084	1088	1091	1093

4. Description de l'évolution du système au cours de la transformation

Question-réponse

Compléter le tableau descriptif de l'évolution du système au cours de la transformation :

Equation de la réaction	$\text{Mg}_{(s)}$	$+ 2 \text{H}_3\text{O}^+$	$=$	$\text{Mg}^{2+}_{(aq)}$	$+ \text{H}_{2(g)}$	$+ 2 \text{H}_2\text{O}_{(l)}$
Quantité de matière dans l'état initial (mmol)						beaucoup
Quantité de matière au cours de la transformation (mmol)						beaucoup
Quantité de matière dans l'état final (mmol)						beaucoup

Réponse :

Equation de la réaction	$\text{Mg}_{(s)}$	$+ 2 \text{H}_3\text{O}^+$	$= \text{Mg}^{2+}_{(aq)}$	$+ \text{H}_2_{(g)}$	$+ 2 \text{H}_2\text{O}_{(l)}$
Quantité de matière dans l'état initial (mmol)	0,80	25	0	0	beaucoup
Quantité de matière au cours de la transformation (mmol)	$0,80 - x$	$25 - x$	x	x	beaucoup
Quantité de matière dans l'état final (mmol)	0	23,4	0,80	0,80	beaucoup

Voir chapitre 6.1 plus loin, pour le détail des calculs.

5. Etablissement de la relation entre $x(t)$ et Δp .

- Le pressiomètre mesure la pression dans le ballon au cours de la transformation :

$$p_{\text{ballon}} = p_{\text{atm}} + \Delta p$$

- dans les conditions initiales : $p_{\text{atm}} = n \frac{RT}{V}$

n : quantité de matière des espèces (O_2 et N_2) présentes dans l'air.

R : constante des gaz parfaits $R = 8,31$ S.I.

T : température (K)

V : volume (m^3)

- au cours de la transformation :

$$p_{\text{ballon}} = (n + n_{\text{H}_2}) \frac{RT}{V} \quad \text{alors } \Delta p = n_{\text{H}_2} \frac{RT}{V} = x(t) \frac{RT}{V}$$

Relation entre la différence maximale de pression et l'avancement maximal : $\Delta p_{\text{max}} = x_{\text{max}} \frac{RT}{V}$

On obtient la relation :

$$\frac{\Delta p}{\Delta p_{\text{max}}} = \frac{x(t) \frac{RT}{V}}{x_{\text{max}} \frac{RT}{V}} = \frac{x(t)}{x_{\text{max}}}$$

Alors $x(t) = x_{\text{max}} \cdot \frac{\Delta p}{\Delta p_{\text{max}}}$

6. Définitions et détermination des grandeurs caractéristiques de la réaction.

6.1. Avancement maximal (rappel de cours).

- Dans une réaction chimique, le réactif dont la disparition provoque l'arrêt de la transformation est le réactif limitant.
- Dans l'état d'avancement maximal, le réactif limitant a totalement réagi.
- L'avancement maximal est égal à la quantité totale du réactif limitant.
- Détermination de x_{max} .

$$n_{i \text{ Mg}} = \frac{m}{M} = \frac{0,020}{24,3} = 8,0 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

$$n_{i \text{ acide}} = CV = 0,50 \times 0,050 = 2,5 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

Le réactif limitant est le magnésium.

$$x_{\text{max}} = n_{i \text{ Mg}} = 8,0 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

Question-réponse.

Déterminer $x(t)$ pour les différentes dates et tracer le graphe $x=f(t)$

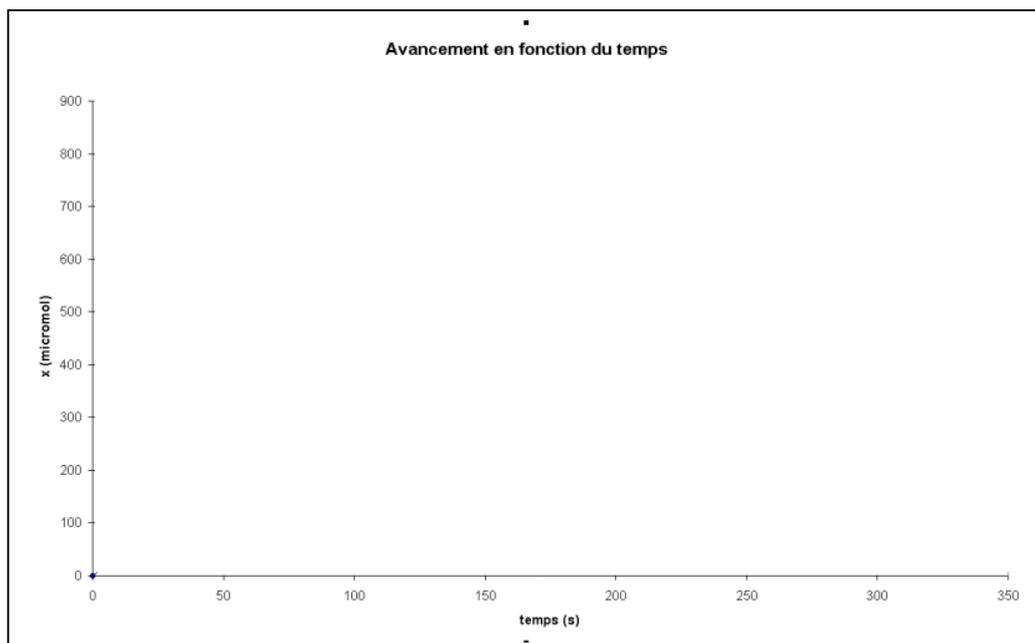
Compléter le tableau suivant :

$t(s)$	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
P (hPa)	1013	1025	1033	1044	1051	1068	1079	1084	1088	1091	1093
ΔP	0										
$\frac{\Delta P}{\Delta P_{\max}}$											
$x(t)$											

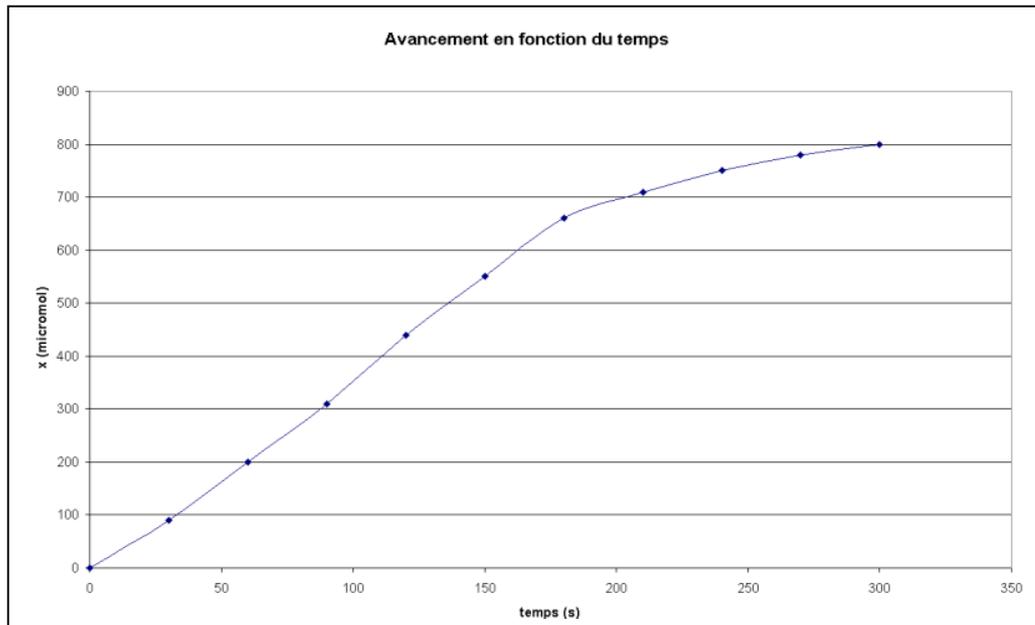
Réponse :

$t(s)$	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
P (hPa)	1013	1025	1033	1044	1051	1068	1079	1084	1088	1091	1093
ΔP	0	12	20	31	38	55	66	71	75	78	80
$\frac{\Delta P}{\Delta P_{\max}}$	0	0,15	0,25	0,39	0,48	0,69	0,83	0,89	0,94	0,98	1
$x(t)$ ($\times 10^{-6}$)	0	120	200	310	380	550	660	710	750	780	800

Tracer le graphe $x=f(t)$



Réponse :



6.2. Temps de demi-réaction $t_{1/2}$

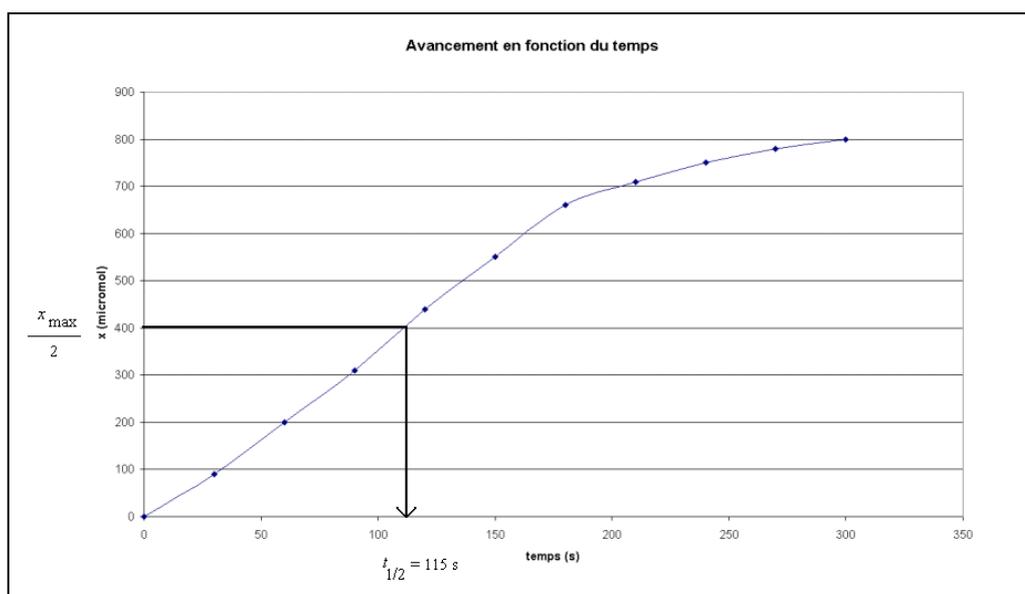
a- Définition :

Le temps de demi-réaction, noté $t_{1/2}$, est la durée au bout de laquelle l'avancement x de la réaction est égale à la moitié sa valeur maximale.

$$x(t_{1/2}) = \frac{x_{\max}}{2}$$

b- Détermination graphique du temps de demi-réaction.

- On calcule $x_{t_{1/2}} = \frac{x_{\max}}{2} = \frac{800}{2} = 400 \mu\text{mol}$
- On détermine sur la graphe la date correspondant à cette valeur.



- Le temps de demi-réaction de cette transformation est $t_{(1/2)} = 125 \text{ s}$.

6.3. Vitesse volumique de réaction.

a- Définition.

$$v(t) = \frac{1}{V} \cdot \frac{dx}{dt}$$

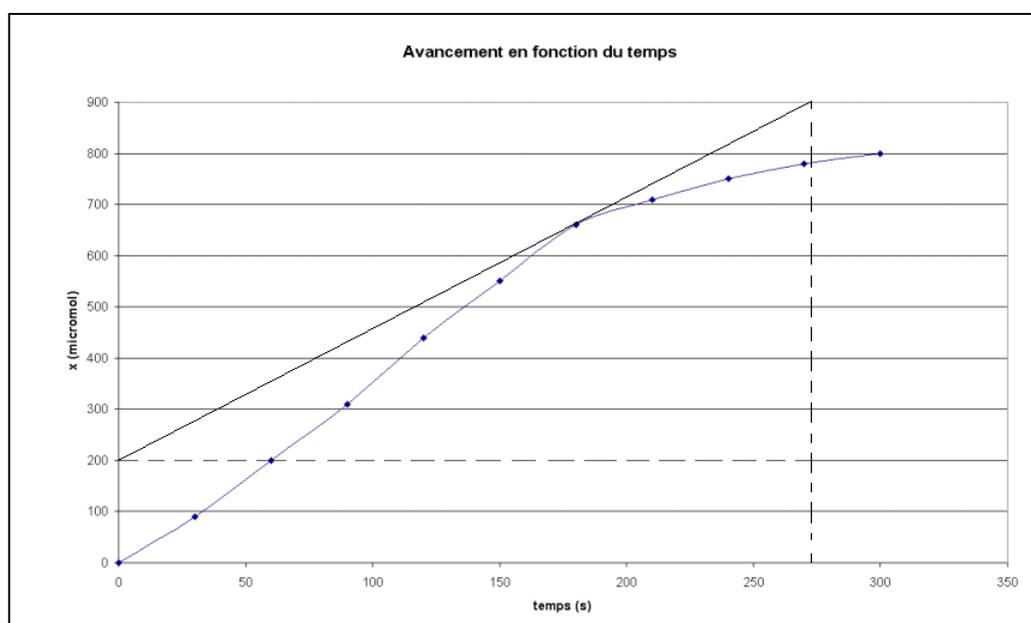
$v(t)$: vitesse volumique de réaction ($\text{mol.L}^{-1}.\text{s}^{-1}$) *D'autres unités peuvent être utilisées dans les exercices*

V : volume de la solution (L)

$\frac{dx}{dt}$: dérivée de l'avancement de la réaction par rapport au temps. (mol.s^{-1})

Coefficient directeur de la tangente à la courbe à la date t

b- Détermination graphique d'une vitesse volumique de réaction (*limite externe du programme de TS*)



La vitesse volumique de réaction à la date t est égale au quotient du coefficient directeur de la tangente à la courbe à la date t par le volume de la solution.

Dans notre cas à $t = 180$ s

$$v_{(180)} = \frac{1}{0,050} \times \frac{(900 - 200) \times 10^{-6}}{270 - 0} = 5,2 \times 10^{-5} \text{ mol.L}^{-1}.\text{s}^{-1}$$

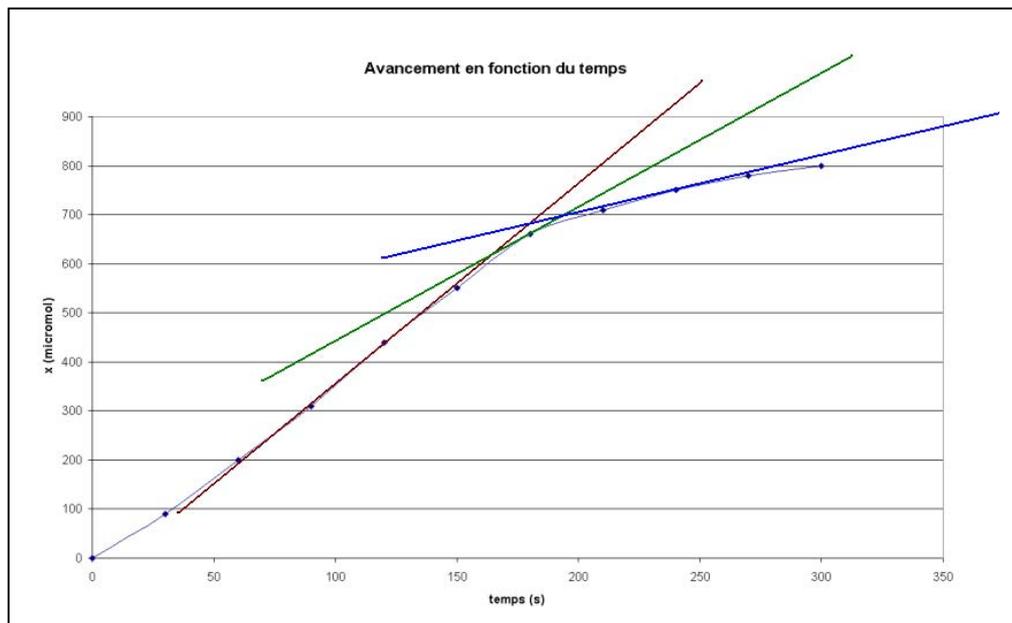
Rappel : $V = 50 \text{ mL} = 0,050 \text{ L}$

c- Variation de la vitesse de réaction.

Question-réponse

- Comment varie la vitesse au cours du temps lors de cette transformation chimique ?

Au fur et à mesure que la transformation se déroule, le coefficient directeur des différentes tangentes aux différentes dates, diminue. Alors la vitesse diminue au cours du temps.



- Pourquoi diminue-t-elle ?

La concentration des réactifs diminue au cours du temps.

La concentration des réactifs étant un facteur cinétique, la vitesse diminue quand la concentration des réactifs diminue.

- Dans quels cas, la vitesse de réaction peut-elle augmenter au cours du temps ?
 - *Si la réaction est très exothermique (c'est à dire qu'elle dégage de la chaleur) La température étant un facteur cinétique, la vitesse augmente si la température augmente.*
 - *Si l'un des produits est un catalyseur de sa propre réaction de formation.*