

# ÉTUDE QUANTITATIVE D'UNE RÉACTION CHIMIQUE

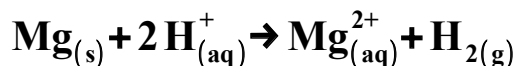
## SUIVI DE LA RÉACTION ENTRE L'ACIDE CHLORHYDRIQUE ET LE MAGNÉSIUM

**Objectif :** Mettre en œuvre un protocole permettant de suivre l'évolution de l'avancement d'une réaction chimique grâce à la mesure d'une grandeur physique.

La réaction étudiée est l'action d'une solution d'acide chlorhydrique sur le magnésium.

### 1. MISE EN PLACE DU DISPOSITIF ET PRISE DE MESURES

Équation bilan de la réaction :



#### Composition initiale du système chimique

Les ions  $\text{H}^+$  sont apportés par une solution d'acide chlorhydrique de concentration.

Le magnésium est disponible sous forme de ruban. Sa masse molaire est  $M(\text{Mg}) = 24,3 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

Le système chimique dans son état initial sera constitué de la façon suivante :

- x Volume  $V_a = 60,0 \text{ mL}$  d'une solution d'acide chlorhydrique de concentration  $C_a = 0,40 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  ;
- x Masse de magnésium  $m_0(\text{Mg}) = 0,20 \text{ g}$ , ou notez la masse pesée réellement si vous n'arrivez pas à peser exactement 0,20 g.

Calculer les quantités de matière des deux réactifs dans l'état initial du système chimique :  $n_0(\text{H}^+)$  et  $n_0(\text{Mg})$ .

#### Conditions expérimentales et mesures

La réaction est réalisée dans un ballon et on recueille le dihydrogène dégagé dans une éprouvette graduée de 250 mL par déplacement d'eau comme schématisé sur l'illustration 1.

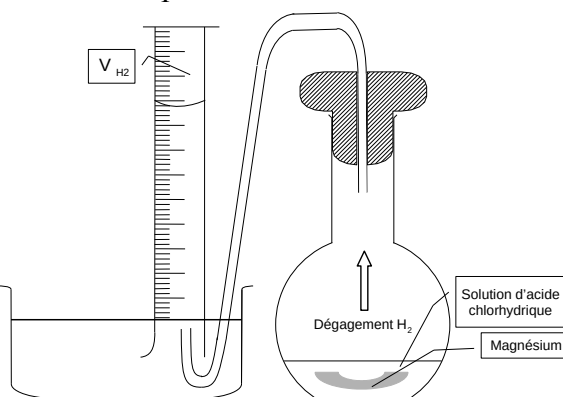


Illustration 1 : Schéma du montage expérimental

On donne dans le tableau ci-contre les valeurs du volume molaire des gaz  $V_M$  en fonction de la température  $T$  en degrés Celsius.

Quelle est l'expression de la quantité de matière de dihydrogène  $n(\text{H}_2)$  en fonction du volume molaire  $V_m$  ?  $n(\text{H}_2) = \frac{V_{\text{H}_2}}{V_m}$

#### Prise de mesures

On souhaite connaître l'évolution de la réaction au fur et à mesure de son déroulement. On choisit de mesurer le volume de dihydrogène dégagé  $V(\text{H}_2)$  en fonction du temps. **On exécute une prise de mesure toutes les 10 à 15 secondes jusqu'à ce que la réaction soit terminée.**

Préparez au brouillon un tableau de mesures à deux lignes (ou colonnes) :  $t$  en secondes et  $V(\text{H}_2)$  en mL.

Une fois le dispositif prêt, il faut réaliser **dans le plus court intervalle de temps possible** les trois actions suivantes :

- x verser le volume  $V_a$  de solution d'acide chlorhydrique dans le ballon ;
- x introduire le magnésium dans le ballon ;
- x boucher le ballon fermement ;
- x déclencher un chronomètre et commencer à remplir le tableau de mesures au brouillon.

**Conservez vos mesures en vue de leur exploitation.**

T (°C)	Vm (L/mol)
18	23,9
19	24,0
20	24,0
21	24,1
22	24,2
23	24,3
24	24,4
25	24,5
26	24,5
27	24,6
28	24,7
29	24,8
30	24,9

### 3. UN OUTIL D'ÉTUDE DE LA RÉACTION CHIMIQUE : LE TABLEAU D'AVANCEMENT DE LA RÉACTION

#### 1. Tableau d'avancement de la réaction

Un **TABLEAU D'AVANCEMENT** regroupe toutes les informations sur les quantités de matière d'un système chimique lors de son évolution au cours du temps.

Trois instants figurent en général : l'instant initial, l'instant final lorsque la réaction est terminée et un instant  $t$  intermédiaire quelconque.

Chaque cellule du tableau d'avancement contient **UNE QUANTITÉ DE MATIÈRE, EXPRIMÉES EN FONCTION D'UN PARAMÈTRE UNIQUE : L'AVANCEMENT  $x$  DE LA RÉACTION.**

Les quantités de matière notées  $n_0$  correspondent aux quantités de matière initiales. Par exemple,  $n_0(\text{Mg})$  se lit « quantité de matière initiale en magnésium ».

	$\text{Mg}_{(s)}$	+	$2 \text{H}_{(aq)}^+$	$\rightarrow$	$\text{Mg}_{(aq)}^{2+}$	+	$\text{H}_{2(g)}$
<b>État initial</b> $t=0, x=0$	$n_0(\text{Mg})$		$n_0(\text{H}^+)$		0		0
<b>En cours de réaction</b> $t, x$	$n_0(\text{Mg}) - x$		$n_0(\text{H}^+) - 2 \cdot x$		$x$		$x$
<b>État final</b> $t_f, x_{\max}$	$n_0(\text{Mg}) - x_{\max}$		$n_0(\text{H}^+) - 2 \cdot x_{\max}$		$x_{\max}$		$x_{\max}$

*Handwritten notes:*  
 $n_0(\text{Mg}) = 8,2 \times 10^{-5} \text{ mol}$   
 $n_0(\text{H}^+) = 2,4 \times 10^{-2} \text{ mol}$

L'avancement  $x$  de la réaction obéit possède les caractéristiques suivantes :

- $x$   $x$  s'exprime en moles (mol).
- L'avancement  $x$  de la réaction est une fonction du temps,  $x(t)$ , **CROISSANTE, POSITIVE, VARIANT DANS L'INTERVALLE  $[0; x_{\max}]$ .**
- La connaissance de la valeur de  $x$  à un instant quelconque permet de déterminer **TOTALEMENT** la composition du système chimique à cet instant.

#### Exploitation directe

- Quelle est l'expression de la quantité de matière des ions oxonium ( $\text{H}^+$ ) à un instant quelconque ?
- Quelle est la composition du système chimique lorsque  $x = 1,5 \times 10^{-3} \text{ mol}$  ?

#### 2. Exploitation avancée des mesures à l'aide du tableau d'avancement

Un tableau d'avancement est destiné à être exploité en dernier lieu de manière numérique :

- Les quantités de matière **dans l'état initial** se calculent à partir **du protocole mis en œuvre par l'expérimentateur.**
- Les quantités de matière **dans un état quelconque** nécessitent la connaissance de la valeur de l'avancement  $x$ . Cela impose **une mesure** afin d'en déduire plus ou moins directement la valeur de  $x$ .
- Les quantités de matière **dans l'état final** dépendent de la valeur de l'avancement maximal  $x_{\max}$  qui se détermine à l'aide **d'un calcul.**

#### Évolution de l'avancement $x$ de la réaction au cours du temps

- D'après le tableau d'avancement, quelle grandeur physique mesurée au cours de la réaction peut être reliée le plus simplement possible à l'avancement  $x$  de la réaction ?
- Exprimez l'avancement  $x$  en fonction de cette grandeur.

### a. Méthode 1 - Avec un tableur

Ouvrez une feuille de calcul Libre Office et préparer les colonnes suivantes :  $t$  (s),  $V(\text{H}_2)$ (mL),  $x$  (mol),  $n(\text{Mg})(\text{mol})$ ,  $n(\text{H}^+)(\text{mol})$ ,  $n(\text{Mg}^{2+})(\text{mol})$  et  $n(\text{H}_2)(\text{mol})$ .

1. Complétez les deux premières colonnes avec vos mesures expérimentales.
2. Entrez les formules permettant de calculer l'avancement  $x$  et les quantités de matière de l'ensemble des espèces chimiques présentes.
3. Tracez la représentation graphique des variations de l'avancement  $x$  en fonction du temps.
4. Sur un autre graphique, tracez les variations des quatre quantités de matière au cours du temps.
5. Quelle observation montre, le cas échéant, que la réaction est terminée ?
6. Quelle observation montre a priori que la réaction est totale ?
7. Quels renseignements supplémentaires sur l'évolution du système chimique pouvez-vous tirer des allures des représentations graphiques tracées ?

### b. Méthode 2 - Avec un programme en Python

1. Entrez vos mesures expérimentales dans ceux colonnes ( $t$  et  $V\text{H}_2$ ) dans un fichier tableur et mettez-le en forme au format *csv* en suivant la procédure décrite dans la vidéo accessible ci-contre. Le remplacement des virgules par des points n'est normalement pas indispensable avec le programme qui vous est fourni.
2. Dans Capytale (application de l'ENT), accédez au Notebook avec le code suivant : **4a44-212236**.
3. Correspondances entre les notations du TP et les noms de variables et listes du programme Python.



QR\_Code 1 : Préparer un fichier csv pour Python (Scannez ou cliquez)

Notation TP	Nom des variables en Python
$t$	$t$
$V_m$	$Vm$
$V(\text{H}_2)$	$VH$
$n_0(\text{Mg})$	$n0Mg$
$n_0(\text{H}^+)$	$n0HPlus$
$n(\text{H}_2)$	$nH2$
$n(\text{H}^+)$	$nHPlus$
$n(\text{Mg})$	$nMg$
$n(\text{Mg}^{2+})$	$nMgPlus$

Exploitez le tableau d'avancement de la réaction et les réponses à l'étude théorique du problème pour compléter le programme afin de :

- $\times$  spécifier les quantités de matière initiale des deux réactifs ;
- $\times$  calculer la valeur de l'avancement  $x$  pour chaque instant  $t$  mesuré ;
- $\times$  calculer les quantités de matière de toutes les espèces chimiques à chaque instant  $t$  mesuré dans le système ;
- $\times$  tracer les représentations graphiques des variations du volume, des variations de l'avancement et des variations de toutes les quantités de matière des espèces chimiques présentes dans le système.

### c. Détermination de la valeur de l'avancement maximal

La valeur de  $x_{\max}$  détermine la limite d'évolution du système chimique. C'est une valeur *INDÉPASSABLE* pour l'avancement  $x$  qui dépend des proportions initiales des réactifs.

$x_{\max}$  se détermine par un calcul en exploitant le critère de fin de réaction suivant : **LA RÉACTION CHIMIQUE EST CONSIDÉRÉE COMME TERMINÉE LORSQU'UN AU MOINS DES RÉACTIFS EST COMPLÈTEMENT CONSOMMÉ.**

En d'autres termes,  $x$  atteint la valeur  $x_{\max}$  quand un des réactifs a disparu du système chimique.

**REMARQUE IMPORTANTE : RÉACTION CHIMIQUE TOTALE / ÉQUILIBRES CHIMIQUES**

**UNE RÉACTION CHIMIQUE EST TOTALE SI SON AVANCEMENT  $x$  ÉVOLUE JUSQU'À ATTEINDRE LA VALEUR  $x_{\max}$ . DANS CE CAS, L'AVANCEMENT FINAL ET L'AVANCEMENT MAXIMAL SONT CONFONDUS ET AU MOINS UN DES RÉACTIFS EST CONSOMMÉ TOTALEMENT.**

**CERTAINES RÉACTIONS CESSENT D'ÉVOLUER SANS QUE  $x_{\max}$  SOIT ATTEINT :  $x_f < x_{\max}$ . ON PARLE D'ÉQUILIBRES CHIMIQUES.**

1. Quelles équations peut-on écrire en appliquant le critère de fin de réaction à la dernière ligne du tableau d'avancement ?
2. Effectuez les applications numériques correspondantes.
3.  $x_{\max}$  est une valeur indépassable pour l'avancement. Quelle est donc la valeur de l'avancement maximal pour la réaction étudiée, dans les conditions mises en œuvre dans le protocole ?
4. Quel est le réactif limitant ? Quelle est la composition du système dans l'état final ?

### 3. Un outil : le tableau d'avancement :

1-

$$n_0(\text{Mg}) = 8,2 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

$$n_0(\text{H}^+) = 2,4 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

	$\text{Mg}_{(s)}$	+	$2 \text{H}^+_{(aq)}$	$\rightarrow$	$\text{Mg}^{2+}_{(aq)}$	+	$\text{H}_{2(g)}$
<b>État initial</b> $t=0, x=0$	$n_0(\text{Mg})$		$n_0(\text{H}^+)$		0		0
<b>En cours de réaction</b> $t, x$	$n_0(\text{Mg}) - x$		$n_0(\text{H}^+) - 2x$		$x$		$x$
<b>État final</b> $t_f, x_{\text{max}}$	$n_0(\text{Mg}) - x_{\text{max}}$		$n_0(\text{H}^+) - 2x_{\text{max}}$		$x_{\text{max}}$		$x_{\text{max}}$

$$= 0 \quad \text{ou} \quad = 0$$

1) Ions oxonium ( $\text{H}^+$ ) à l'instant  $t$ :

$$n(\text{H}^+) = n_0(\text{H}^+) - 2x$$

2) Si  $x = 1,5 \times 10^{-3} \text{ mol}$

$$n(\text{Mg}) = 8,2 \times 10^{-3} - 1,5 \times 10^{-3} = 6,7 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

$$n(\text{H}^+) = 2,4 \times 10^{-2} - 2 \times 1,5 \times 10^{-3} = 2,1 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

$$n(\text{Mg}^{2+}) = n(\text{H}_2) = 1,5 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

Exploitation:

On a  $n(\text{H}_2) = x$  donc  $x = \frac{V(\text{H}_2)}{V_m}$  mesurable

On prendra  $V_m = 24,2 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$