

ÉLECTRON PHYSIQUE-CHIMIE

Cours - Activités - Exercices - Devoirs



1BAC Sc. M

Partie I

- Mécanique
- Chimie en solution

Réalisé par :

Guide de prof

Sommaire

❖ Mécanique	3
▪ Mouvement de rotation d'un corps solide autour d'un axe fixe	4
▪ Travail et puissance d'une force	19
▪ Travail et énergie cinétique	33
▪ Travail et énergie potentielle - Énergie mécanique.....	47
▪ Travail et énergie interne.....	55
▪ Énergie thermique -Transfert thermique.....	62
❖ Chimie en solution.....	71
▪ L'importance de la mesure en chimie	72
▪ Les grandeurs liées à la quantité de matière	78
▪ Solutions électrolytiques et concentration	93
▪ Suivi d'une transformation chimique.....	104
▪ Mesure de la conductance.....	115
▪ Réactions acidobasiques.....	128
▪ Réactions d'oxydoréduction.....	137
▪ Dosages directs.....	146
❖ Devoirs.....	157
❖ Bibliographies utilisées.....	172

PARTIE I : Mécanique

1

Mouvement de rotation d'un corps solide autour d'un axe fixe

2

Travail est puissance d'une force

3

Travail et énergie cinétique

4

Travail et énergie potentielle- Énergie mécanique

5

Travail et énergie interne

6

Énergie thermique -Transfert thermique



Mouvement de rotation d'un solide autour d'un axe fixe



Situation-problème

Les hélices d'un hélicoptère sont des solides en rotation autour d'un axe fixe .

- 💡 **Qu'est-ce qu'un mouvement de rotation ?**
- 💡 **Quelles sont les caractéristiques de ce mouvement ?**
- 💡 **Quelles sont les caractéristiques du mouvement de rotation uniforme ?**

Objectifs

- 💡 **Définir le mouvement de rotation d'un solide autour d'axe fixe .**
- 💡 **Savoir repérer un point d'un solide en rotation autour d'un axe fixe par son abscisse angulaire ou par son abscisse curviligne .**
- 💡 **Connaître et savoir déterminer la vitesse angulaire d'un solide en mouvement de rotation autour d'un axe fix .**
- 💡 **Définir le mouvement de rotation uniforme d'un corps solide autour d'axe fixe .**
- 💡 **Savoir déterminer l'équation horaire du mouvement d'un point en mouvement circulaire autour d'un axe fixe .**
- 💡 **Connaître la période et la fréquence du mouvement de rotation uniforme .**

I Mouvement de rotation d'un solide autour d'un axe fixe

① Activité: Mise en évidence du mouvement de rotation d'un solide autour d'un axe fixe

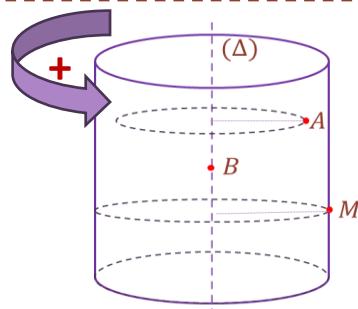
On considère un corps solide (**S**) de forme cylindrique en mouvement autour d'un axe fixe (**Δ**)

Soient **A**, **B** et **M** des points du solide (**S**)

Exploitation

① Identifier la nature du mouvement des points **A**, **B**, et **M**.

② Quelle est la nature du mouvement du solide (**S**) .



① Les points **A** et **M** sont en mouvement circulaire tandis que le point **B** est immobile .

② Le corps solide (**S**) en mouvement de rotation autour d'un axe fixe .

② Définition

Un corps solide indéformable est en mouvement de rotation autour d'un axe fixe si tous ses points décrivent des trajectoires circulaires centrées sur l'axe sauf les points qui appartiennent à cet axe .

❖ Exemples



Le volant réalise un mouvement de rotation autour d'un axe fixe



La toupie réalise un mouvement de rotation autour de son axe de symétrie



La grande roue réalise un mouvement de rotation autour de l'axe passant par son centre

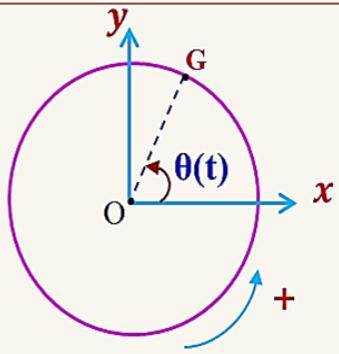
II Repérage d'un point d'un solide en rotation autour d'un axe fixe

Pour repérer le mouvement d'un point **G** d'un corps solide en mouvement de rotation autour d'un axe fixe , on considère un repère **R(O, i, j)** confondu avec le plan du mouvement .

On repère la position du point **G** par son abscisse angulaire ou par son abscisse curviligne

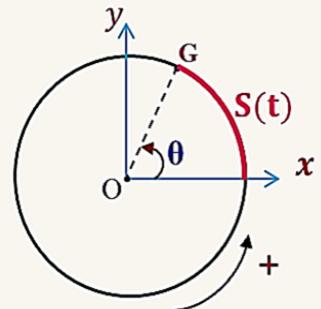
① Abscisse angulaire

- On prend l'axe des abscisses (Ox) comme direction de référence .
- On appelle abscisse angulaire d'un point mobile G à un instant t donné, la valeur algébrique de l'angle $\theta(t) = (\overrightarrow{Ox}, \overrightarrow{OG})$.
- L'unité de l'abscisse angulaire dans le (S.I) est le radian (rad)



② L'abscisse curviligne

- On prend le point A (point d'intersection entre Ox avec la trajectoire) comme point de référence .
- On appelle abscisse curviligne d'un point mobile G à un instant t donné, la longueur de l'arc $s(t) = \widehat{AG}$.
- L'unité de l'abscisse curviligne dans le (S.I) est mètre (m)



③ La relation entre l'abscisse angulaire et l'abscisse curviligne

L'abscisse angulaire $\theta(t)$ et l'abscisse curviligne $s(t)$ sont liés par la relation suivante :

$$s(t) = r \cdot \theta(t)$$

❖ Application

Un disque de diamètre $D = 50\text{cm}$ réalise un demi-tour pendant une durée Δt . Le point M se trouve initialement sur l'axe des abscisses.

① Déterminer l'abscisse angulaire d'un point M du périmètre du disque

② Déduire la distance parcourue par ce point pendant la durée Δt .

Notons que le point M se trouve initialement sur l'axe des abscisses .

① Le disque réalise un demi-tour donc l'abscisse angulaire du point M est : $\theta = \pi = 3,14 \text{ rad}$

② La distance parcourue par le point M pendant la durée Δt est $d = \Delta s = s - s_0$

Avec $s_0 = 0\text{m} \ll$ le point M se trouve initialement sur l'axe des abscisses (Ox) »

Alors : $d = s \Leftrightarrow d = R \cdot \theta$

$$\Leftrightarrow d = \frac{D}{2} \cdot \theta$$

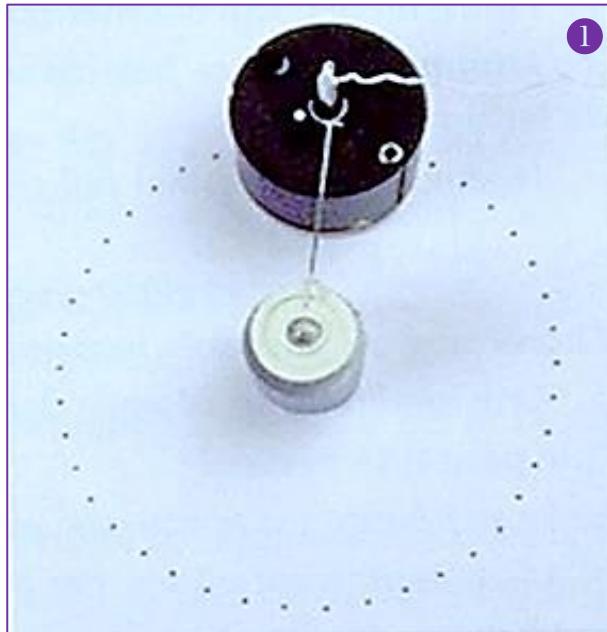
$$\text{A.N : } d = \frac{50 \times 10^{-2}}{2} \times 3,14 = 7,85 \times 10^{-2}\text{m}$$

III La vitesse angulaire

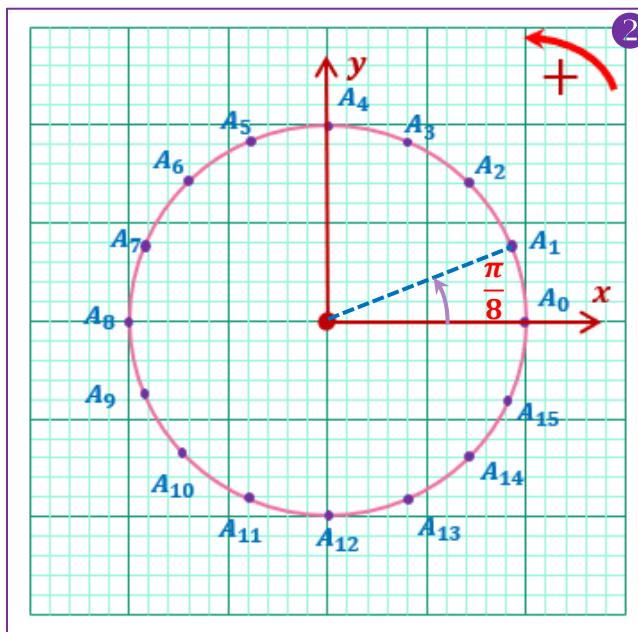
① Activité

On considère un autoporteur qui peut tourner autour d'un axe fixe (Δ). On connecte l'autoporteur à un détonateur latéral A (la figure ①) .

On lance l'autoporteur et on enregistre le mouvement du détonateur A pendant des périodes de temps égales et successives $\tau = 40ms$ (la figure ②)



①



②

- ① Quelle est la nature de la trajectoire du détonateur A ?
- ② Calculer la vitesse instantanée du détonateur aux positions A_3 et A_5 . Que concluez-vous ?
- ③ Représenter le vecteur vitesse instantanée aux positions A_3 et A_5
- ④ On définit la vitesse angulaire instantanée par la relation suivante : $\omega_i = \frac{\theta_{i+1} - \theta_{i-1}}{t_{i+1} - t_{i-1}}$.
Calculer la vitesse angulaire instantanée du détonateur A aux positions A_3 et A_5 .
- ⑤ Calculer la vitesse angulaire moyenne du détonateur A entre les positions A_1 et A_8 .que remarquez-vous ?
- ⑥ Calculer le rapport $\frac{v_i}{\omega_i}$ et le comparer avec le rayon de la trajectoire du détonateur A . Que concluez-vous ?

- ① La trajectoire du détonateur A est circulaire .
 ② On calcule les valeurs de la vitesse instantanée, en utilisant la relation suivante : $V_i = \frac{\widehat{A_i A_{i-1}}}{2\tau}$.

- À la position A_3

$$\text{On a : } V_3 = \frac{\widehat{A_4 A_2}}{2\tau} .$$

$$\text{A.N : } V_3 = \frac{2,2 \times 10^{-2}}{2 \times 40 \times 10^{-3}}$$

$$\text{On trouve : } V_3 = 2,75 \times 10^{-1} \text{ m.s}^{-1}$$

- À la position A_5

$$\text{On a : } V_5 = \frac{\widehat{A_6 A_4}}{2\tau} .$$

$$\text{A.N : } V_5 = \frac{1,7 \times 10^{-2}}{2 \times 40 \times 10^{-3}}$$

$$\text{On trouve : } V_5 = 2,12 \times 10^{-1} \text{ m.s}^{-1}$$

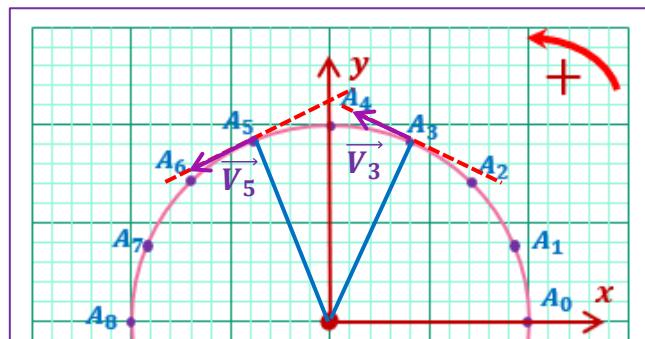
→ Puisque $V_3 = V_5$ donc le mouvement du détonateur A est uniforme .

- ③ Pour représenter les vecteurs vitesses instantanées \vec{V}_3 et \vec{V}_5 , on doit déterminer leurs caractéristiques

Vecteur vitesse	\vec{V}_3	\vec{V}_5
Origine	A_3	A_5
Direction	La tangent à la trajectoire au point A_3	La tangent à la trajectoire au point A_5
Sens	Celui du mouvement	
Norme en (m.s^{-1})	$V_3 = V_5 = 2,75 \times 10^{-1}$	

On représente les vecteurs vitesses \vec{V}_3 et \vec{V}_5 en utilisant l'échelle suivante : $1\text{cm} \mapsto 0,21\text{m.s}^{-1}$

« L'élève représente les vecteurs vitesses dans le document de la figure ② »



- ④ On calcule les valeurs de la vitesse angulaire instantanée, en utilisant la relation suivante : $V_i = \frac{\theta_{i+1}-\theta_{i-1}}{2\tau}$.

- À la position A_3

$$\text{On a : } \omega_3 = \frac{\theta_4-\theta_2}{2\tau} .$$

$$\text{A.N : } \omega_3 = \frac{\frac{\pi}{2}-\frac{\pi}{4}}{2 \times 40 \times 10^{-3}}$$

$$\text{Donc : } \omega_3 = 9,82 \text{ rad.s}^{-1}$$

- À la position A_5

$$\text{On a : } \omega_5 = \frac{\theta_6-\theta_4}{2\tau} .$$

$$\text{A.N : } \omega_5 = \frac{\frac{3\pi}{4}-\frac{\pi}{2}}{2 \times 40 \times 10^{-3}}$$

$$\text{Donc : } \omega_5 = 9,82 \text{ rad.s}^{-1}$$

- ⑤ On calcule la vitesse moyenne du détonateur A entre les positions

A_1 et A_8

$$\text{On a } \omega_m = \frac{\theta_8-\theta_1}{t_8-t_1} = \frac{\theta_8-\theta_1}{7\tau}$$

$$\text{A.N : } \omega_m = \frac{\frac{\pi}{8}-\frac{\pi}{8}}{7 \times 40 \times 10^{-3}}$$

$$\text{Donc : } \omega_m = 9,82 \text{ rad.s}^{-1}$$

→ On constate que la vitesse angulaire moyenne est égale à la vitesse angulaire instantanée .

- ⑥ On a : $\frac{V_3}{\omega_3} = \frac{2,12 \times 10^{-1}}{9,82}$

$$\frac{V_3}{\omega_3} \approx 2,8 \times 10^{-2} \text{ m}$$

Et d'après la figure ② rayon de la trajectoire est $R = 2,8\text{cm}$

Ou bien : $R = 2,8 \times 10^{-2}\text{m}$

$$\text{On constate que : } \frac{V_3}{\omega_3} = R$$

On déduit que : $V_i = R\omega_i$

② La vitesse angulaire moyenne

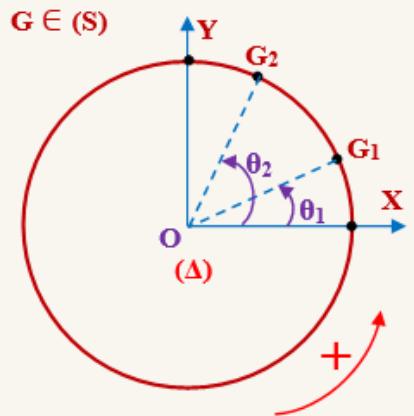
- La vitesse angulaire moyenne ω_m d'un point

G entre deux instants t_1 et t_2

$$\text{est : } \omega_m = \frac{\theta_2 - \theta_1}{t_2 - t_1}.$$

- L'unité de la vitesse angulaire dans le système international des unités

est : rad. s⁻¹



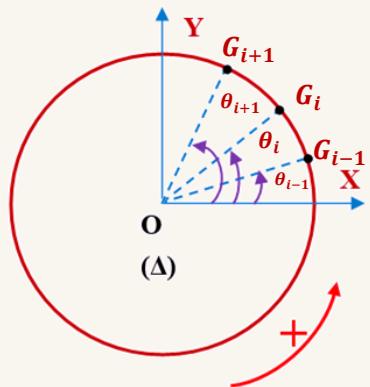
③ La vitesse angulaire instantanée

La vitesse angulaire instantanée ω_i d'un point G

à l'instant t_i est défini par la relation

$$\text{suivante : } \omega_i = \frac{\theta_{i+1} - \theta_{i-1}}{t_{i+1} - t_{i-1}}.$$

Tous les points du solide ont la même vitesse angulaire au même instant



④ La vitesse linéaire instantanée

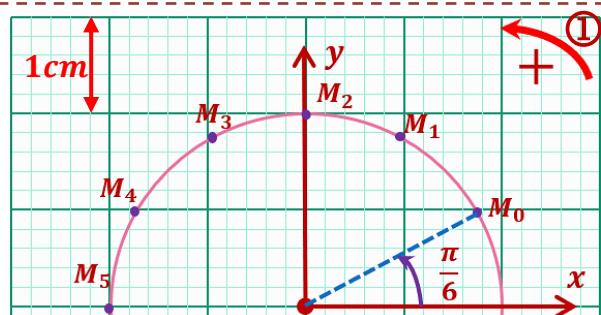
- La vitesse linéaire « curviligne » instantanée V_i d'un point G à l'instant t_i est défini par

$$\text{la relation suivante : } V_i = \frac{\widehat{A_{i+1}A_{i-1}}}{t_{i+1} - t_{i-1}}.$$

- L'unité de la vitesse angulaire dans le système international des unités est : m. s⁻¹.
- La vitesse angulaire et la vitesse linéaire sont liées par la relation suivante : $V_i = R \omega_i$
- La vitesse linéaire augmente en s'éloignant de l'axe de rotation .

① Activité

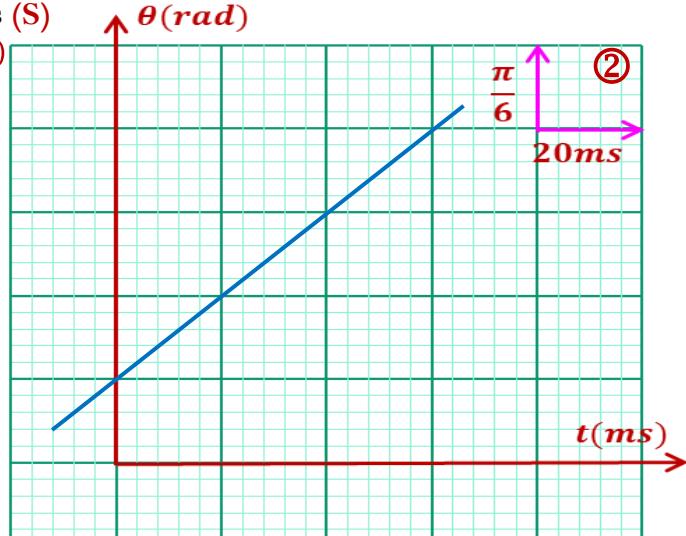
On enregistre les positions occupées par un point **M** d'un solide (**S**) en mouvement de rotation autour d'un axe fixe (Δ) sur une table à coussin d'air pendant des intervalles de temps égaux à $\tau = 20ms$, on obtient l'enregistrement de la figure ①. Le point **M₀** est la position occupée par le point **M** à l'instant $t_0 = 0s$



- ① En exploitant l'enregistrement de la figure ① compléter le tableau ci-dessous .

Position	M₀	M₁	M₂	M₃	M₄
Date $t(ms)$	0	20	40	60	80
Abscisse angulaire $\theta(rad)$	$\frac{\pi}{6}$	$\frac{\pi}{3}$	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{2\pi}{3}$	$\frac{5\pi}{6}$

- ② Calculer la valeur de la vitesse angulaire instantanée du point **M** aux positions **M₁** et **M₄** et déduire la nature du mouvement du corps (**S**)
 ③ Dresser sur la figure ② la courbe $\theta = f(t)$ qui représente l'évolution de l'abscisse angulaire en fonction de temps en déterminant sa nature .
 ④ Déterminer la valeur du coefficient directeur de la courbe $\theta = f(t)$ et le comparer avec la valeur de la vitesse angulaire .
 ⑤ Déduire l'équation modélisant l'évolution temporelle de l'abscisse curviligne de point **M** .
 ⑥ Déterminer la période et la fréquence du mouvement du solide (**S**) .



- ① Voir le tableau ci-dessus

- ② Calculons la vitesse angulaire instantanée :

- À la position **M₁**

$$\text{On a : } \omega_1 = \frac{\theta_2 - \theta_0}{2\tau}.$$

$$\text{A.N : } \omega_1 = \frac{\frac{\pi}{6} \times 2}{2 \times 20 \times 10^{-3}}$$

$$\text{Donc : } \omega_1 = 2,62 \times 10^1 \text{ rad.s}^{-1}$$

- À la position **A₅**

$$\text{On a : } \omega_4 = \frac{\theta_5 - \theta_3}{2\tau}.$$

$$\text{A.N : } \omega_4 = \frac{\frac{\pi}{6} \times 2}{2 \times 20 \times 10^{-3}}$$

$$\omega_4 = 2,62 \times 10^1 \text{ rad.s}^{-1}$$

- Puisque $\omega_1 = \omega_4 = \text{Cte}$ donc le solide (**S**) est en rotation uniforme

③ Voir la courbe de la figure ② . Cette courbe montre que l'évolution temporelle de l'abscisse angulaire du point M est une fonction affine d'équation : $\theta(t) = at + b$

④ D'après la courbe de ② figure on trouve : $a = \frac{\frac{2\pi}{3} - \frac{\pi}{3}}{(60-20) \times 10^{-3}} = 2,62 \times 10^1 \text{ rad.s}^{-1}$. On constate que : $a = \omega$.

On déduit que l'équation horaire vérifiée par l'abscisse angulaire θ d'un point d'un solide en mouvement de rotation uniforme est affine dont le coefficient directeur est égale à la valeur de la vitesse angulaire . $\theta(t) = \omega t + \theta_0$.

⑤ D'après la question précédente on a : $\theta(t) = \omega t + \theta_0$ avec $\omega = 2,62 \times 10^1 \text{ rad.s}^{-1}$ et $\theta_0 = \frac{\pi}{6} \text{ rad}$ et puisque $s(t) = R \cdot \theta(t)$ avec $R = 2,28 \text{ cm}$

$$\text{Donc : } s(t) = 2,8 \times 10^{-2} (2,62 \times 10^1 t + \frac{\pi}{6})$$

$$\text{Finalement on trouve : } s(t) = 7,34 \times 10^{-1} t + 1,47 \times 10^{-2} .$$

⑥ Calculons la période et la fréquence du mouvement solide (S) .

- La période : $T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{2,62 \times 10^1} = 2,40 \times 10^{-1} \text{ s}$
- La fréquence : $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2,40 \times 10^{-1}} = 4,17 \text{ Hz}$

② Définition

Un corps solide est en rotation uniforme si sa vitesse angulaire est constante au cours du

$$\text{temps } \omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \text{Cte}$$

③ Les caractéristiques du mouvement de rotation uniforme

- La période noté T est la durée nécessaire pour qu'un point M du solide effectue un tour complet autour de l'axe de rotation : $T = \frac{2\pi}{\omega}$.

L'unité de la période dans le système international est la seconde (s) .

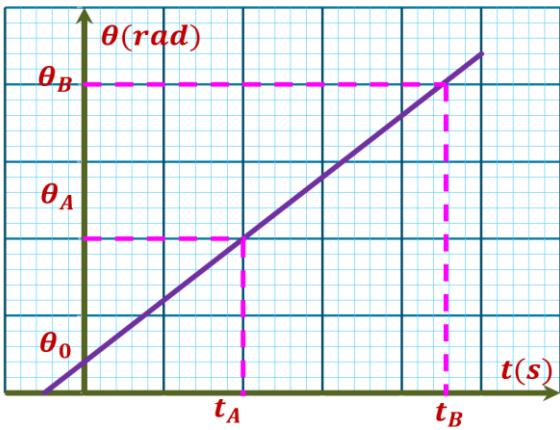
- La fréquence noté f est le nombre des tours complet effectué par un point M en une seconde : $f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$

L'unité de la fréquence dans le système international est le Hertz (Hz)

④ Les équations horaires du mouvement de rotation uniforme

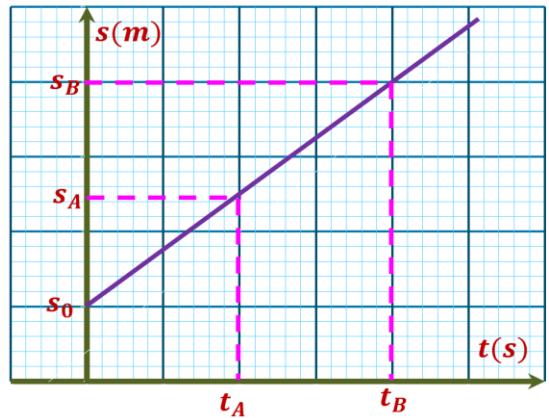
Les équations horaires du mouvement d'un point d'un solide en mouvement de rotation uniforme sont : $\theta(t) = \omega \cdot t + \theta_0$ et $s(t) = \nu \cdot t + s_0$

- θ_0 : est l'abscisse angulaire initial .
- s_0 : est l'abscisse curviligne initial .



L'abscisse angulaire $\theta(t)$ d'un point d'un corps solide en mouvement de rotation autour d'un axe fixe est une fonction affine dont le coefficient directeur est la vitesse angulaire ω .

On peut déterminer graphiquement la valeur de la vitesse angulaire , en utilisant la relation suivante : $\omega = \frac{\theta_B - \theta_A}{t_B - t_A}$



L'abscisse curviligne $s(t)$ d'un point d'un corps solide en mouvement de rotation autour d'un axe fix est une fonction affine dont le coefficient directeur est la vitesse linéaire v .

On peut déterminer graphiquement la valeur de la vitesse linéaire , en utilisant la relation suivante : $v = \frac{s_B - s_A}{t_B - t_A}$

Série d'exercices

Exercice 1

L'équation horaire vérifiée par l'abscisse angulaire d'une poulie en mouvement de rotation autour d'un axe fixe est : $\theta(t) = 4t + 0,7$ avec $\theta(\text{rad})$ et $t(\text{s})$.

- ① Déterminer la valeur de la vitesse angulaire ω , et celle de l'abscisse angulaire initial θ_0
- ② Calculer la période et la fréquence du mouvement de la poulie.
- ③ Déterminer l'équation horaire vérifiée par l'abscisse curviligne d'un point **M** du périmètre de la poulie, sachant que le rayon de la poulie est : $R = 25\text{cm}$
- ④ Calculer la distance parcourue par le point **M** pendant une durée $\Delta t = 30\text{s}$
- ⑤ Calculer le nombre de tours effectués par la poulie pendant une durée $\Delta t = 30\text{s}$

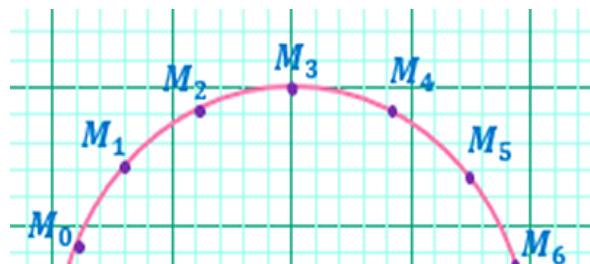
Exercice 2

La figure ci-contre représente l'enregistrement du mouvement d'un point **M** du périmètre d'un disque en mouvement sur une table à coussin d'air

Données :

- La durée entre deux positions successives : $\tau = 40\text{ms}$
- La longueur de l'arc entre deux positions successives : $\widehat{M_i M_{i+1}} = 4\text{cm}$
- Le rayon de la trajectoire du point A : $R = 11,5\text{cm}$

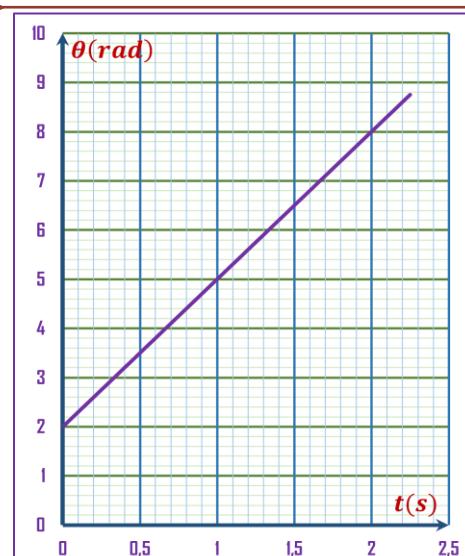
- ① Calculer la vitesse linéaire aux point **M₁** et **M₄**
- ② Représenter les vecteurs vitesses $\vec{V_1}$ et $\vec{V_4}$.
- ③ Calculer la vitesse angulaire du point **M**.
- ④ Calculer la période du mouvement du point **M**, et déduire sa fréquence.
- ⑤ Déterminer le nombre de tours effectués par le disque pendant **2min**
- ⑥ Un point **B** du disque tel que $OB = 3\text{cm}$. O est le centre du disque
 - a – Calculer la vitesse linéaire du point **B**
 - b – Déduire la distance parcourue par le point **B** pendant **5min**



Exercice 3

La figure ci-contre représente les variations de l'abscisse angulaire d'un cylindre de diamètre $D = 12\text{cm}$ en rotation autour d'un axe fixe (Δ) passant par son centre d'inertie

- ① Quelle est la nature du mouvement du cylindre ?
- ② Écrire l'équation horaire vérifiée par l'abscisse angulaire d'un point du cylindre .
- ③ Calculer la période et la fréquence du mouvement du cylindre .
- ④ Écrire l'équation horaire vérifiée par l'abscisse curviligne d'un point **M** du périmètre du cylindre .
- ⑤ Calculer la distance parcourue par le point **M** pendant une durée $\Delta t = 5\text{min}$
- ⑥ Calculer le nombre de tours effectués par le cylindre pendant une durée $\Delta t = 5\text{min}$



Série d'exercices

Exercice 4

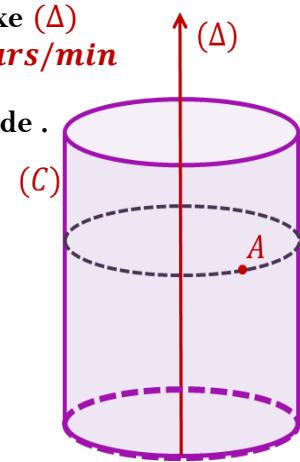
L'équation horaire de l'abscisse curviligne d'un point M pérимètre d'un cylindre en mouvement de rotation autour d'un axe fixe est : $S(t) = 3.t + 8$ avec $S(\text{rad})$ et $t(s)$.

- ① Quelle est la nature du mouvement du point M ?
- ② Déterminer la vitesse linéaire du point M .
- ③ Déterminer l'équation horaire de l'abscisse angulaire du point M sachant que le rayon du cylindre est : $R = 25\text{cm}$ de cylindre de la poulie .
- ④ Calculer le nombre de tours effectués par le cylindre pendant une durée $\Delta t = 1,5\text{h}$

Exercice 5

Un cylindre de rayon $R = 30\text{cm}$ est en rotation uniforme autour d'un axe (Δ) passant par son centre de gravité à une vitesse angulaire égale à 60tours/min

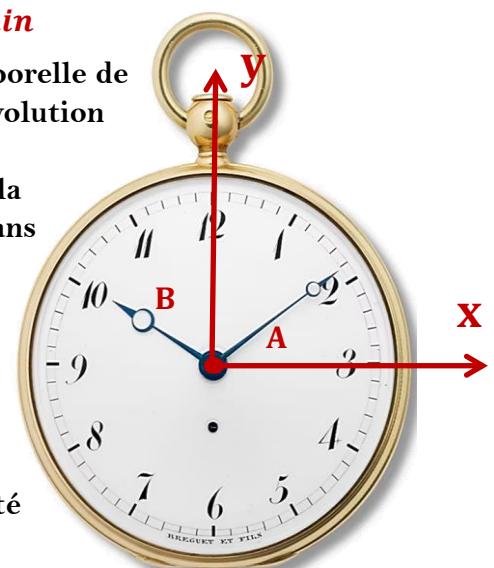
- ① Calculer la fréquence du mouvement du cylindre et déduire sa période .
- ② Exprimer la vitesse angulaire du cylindre en rad/s
- ③ Calculer le nombre de tours effectués par le cylindre pendant une durée $\Delta t = 10\text{min}$
- ④ Soit A et un point de la surface latérale du cylindre .
a – Calculer la vitesse linéaire du point A
b – Calculer la distance parcourue par le point A pendant la durée $\Delta t = 10\text{min}$



Exercice 6

Les aiguilles d'une montre réalisent des mouvements de rotation autour d'un axe fixe (Δ). On choisit l'origine des dates le cas où la montre : $10h9min$

- ① Déterminer l'équation horaire donnant l'évolution temporelle de l'abscisse angulaire de l'aiguille A, et celle donnant l'évolution temporelle de l'abscisse angulaire de l'aiguille B .
- ② À quelle date les deux aiguilles se superposent-ils pour la première fois ? Quelle heure la monter indique-t-elle dans ce cas ?
- ③ Calculer la période et la fréquence du mouvement de chacune de deux aiguilles .
- ④ Pendant une heure, l'extrémité de l'aiguille A parcourt $6,03 \times 10^1\text{m}$ tandis que l'extrémité de l'aiguille B parcourt $7,54 \times 10^{-1}\text{m}$.
a – Calculer la valeur de la vitesse linéaire de l'extrémité de l'aiguille A et celle de l'aiguille B
b – Déterminer l'équation horaire donnant l'évolution temporelle de l'abscisse curviligne de chacune des deux l'aiguilles



Travail et Puissance d'une force



Situation-problème

La force appliquée par le câble de la grue permet de soulever le seau du sable vers le haut. Nous disons que cette force réalise un travail mécanique .

- 💡 Qu'est-ce que le travail mécanique ?
- 💡 Qu'est-ce que la puissance mécanique ?
- 💡 Quelle relation existe-t-elle entre ces deux grandeurs

Objectifs

- 💡 Savoir les effets d'une force exercées sur un corps solide .
- 💡 Définir le travail mécanique et connaître son unité .
- 💡 Savoir calculer le travail d'une force constante appliquée à un solide en translation .
- 💡 Savoir calculer le travail d'une force de moment constant appliquée à un solide en rotation autour d'un axe fixe .
- 💡 Définir la puissance mécanique moyenne et savoir la calculer .
- 💡 Définir la puissance mécanique instantané et savoir la calculer .

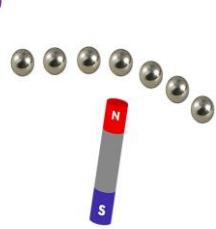
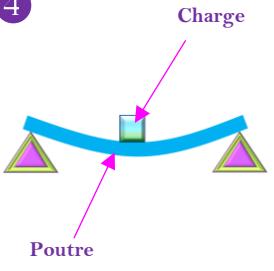
I

Concept de travail d'une force

① Effets d'une force exercée sur un solide

❖ Activité

Identifier les effets ou les changements provoqués par la force pour chaque système

			
La bille de fer change sa trajectoire sous l'action de la force exercée par l'aimant	Le ballon bouge sous l'action de son poids	La voiture se déplace grâce à la force exercée par l'homme .	La poutre se déforme sous l'action du poids de la charge

❖ Conclusion

Une force dont le point d'application qui se déplace, exercée sur corps solide peut avoir plusieurs effets :

- Mettre un solide en mouvement .
- Modifier le mouvement d'un solide (sa vitesse , ou sa trajectoire) .
- Déformer le corps solide .

② Notion du travail

- On dit qu'une force \vec{F} appliquée à un corps solide, travaille si son point d'application se déplace et qu'elle change le mouvement de ce solide ou change ses propriétés physiques (augmentation de sa température , modification de son format) .

- Le travail d'une force \vec{F} dont le point d'application se déplace d'un point A à un point B est une grandeur algébrique noté $W_{A \rightarrow B}(\vec{F})$.
- L'unité du travail dans le (S.I) est le joule de symbole (J)

II Travail d'une force constante

① Force constante

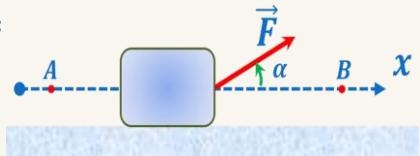
Une force \vec{F} appliquée à un corps solide est dite constante , si elle conserve la même direction le même sens et la même intensité au cours du mouvement de ce corps.

② Travail d'une force constante appliquée à un solide en mouvement de translation rectiligne

- Le travail d'une force \vec{F} dont le point d'application se déplace d'un point A à un point B appliquée à un corps solide en translation rectiligne est égale au produit scalaire du vecteur force \vec{F} et le vecteur de déplacement \overrightarrow{AB} :

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = \vec{F} * \overrightarrow{AB} \text{ ou } W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = F \cdot AB \cos(\alpha) \text{ tel que :}$$

- $W_{A \rightarrow B}(\vec{F})$: le travail en joule (J)

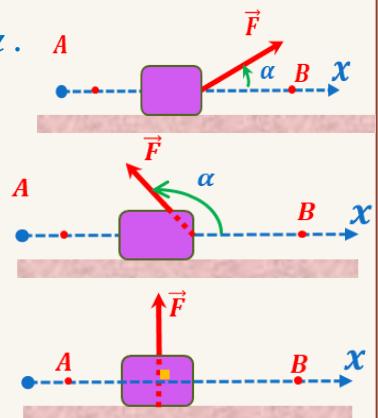


- AB la distance en mètre (m)

- α : l'angle entre le vecteur \overrightarrow{AB} et le vecteur \vec{F} .

- Le signe du travail de la force \vec{F} dépend de la valeur de l'angle α .

- Si $0^\circ \leq \alpha < 90^\circ$ alors $W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) > 0$, la force \vec{F} a un travail moteur .
- Si $90^\circ < \alpha \leq 180^\circ$ alors $W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) < 0$ la force \vec{F} a un travail résistant .
- Si $\alpha = 90^\circ$ alors $W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = 0$ la force \vec{F} n'a pas travaillé pas .



❖ Application

Un corps solide se déplace sans frottement sur piste horizontale et soumis à une force constante \vec{F} formant un angle $\alpha = 30^\circ$ avec la piste et d'intensité $F = 5N$.

- ① Déterminer les forces exercées sur le solide .
- ② Calculer les travaux des forces extérieures exercées sur ce solide lorsqu'il se déplace d'un point E à un point F tel que : $EF = 15m$

- ① Les forces exercées sur le solide sont :

- \vec{P} : le poids de (S)
- \vec{R} : La réaction de la piste .
- \vec{F} : une force constante appliquée à (S)

Les forces sont représentées sur le schéma ci-contre .

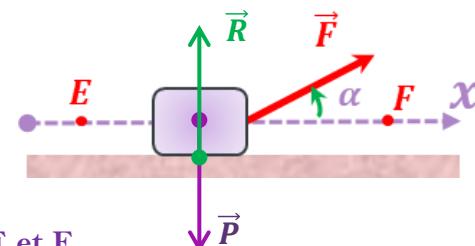
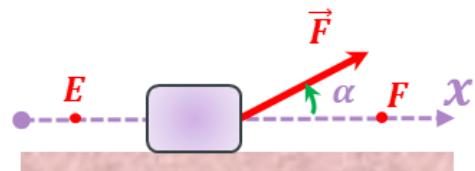
- ② Calculons les travaux de ces forces entre les positions E et F

- Le travail de \vec{P} :

$$\begin{aligned} \text{On a : } W_{EF}(\vec{P}) &= \vec{P} * \overrightarrow{EF} \\ W_{EF}(\vec{P}) &= 0 \text{ (car } \vec{P} \perp \overrightarrow{EF} \text{)} \end{aligned}$$

Le travail de \vec{R} :

$$\begin{aligned} \text{On a : } W_{EF}(\vec{R}) &= \vec{R} * \overrightarrow{EF} \\ W_{EF}(\vec{R}) &= 0 \text{ (car } \vec{R} \perp \overrightarrow{EF} \text{)} \end{aligned}$$



Le travail de \vec{F} :

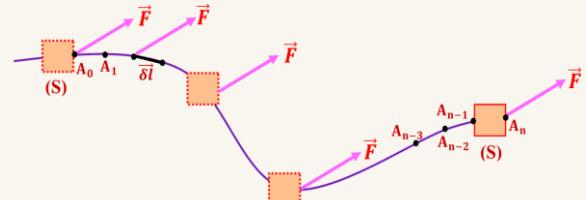
$$\begin{aligned} \text{On a : } W_{EF}(\vec{F}) &= \vec{F} * \overrightarrow{EF} \\ W_{EF}(\vec{F}) &= F \cdot EF \cdot \cos(\alpha) \\ W_{EF}(\vec{F}) &= 5 \times 15 \cdot \cos(30) \\ W_{EF}(\vec{F}) &= J \end{aligned}$$

③ Travail d'une force constante appliquée à un solide en mouvement de translation curviligne

On découpe la trajectoire en segments $\overrightarrow{\delta l}$ infiniment petits . On note par $\partial W_i(\vec{F})$ le travail élémentaire correspondant au déplacement $\overrightarrow{\delta l}_i$:

$$\partial W_i(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \overrightarrow{\delta l}_i$$

Le travail total de la force \vec{F} lorsque son point d'application se déplace d'un point A un point B est égale la somme des travaux élémentaires : $W_{AB}(\vec{F}) = \sum \partial W_i(\vec{F})$



$$\Leftrightarrow W_{AB}(\vec{F}) = \sum \vec{F} * \overrightarrow{\delta l}_i$$

$$\Leftrightarrow W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} * \sum \overrightarrow{\delta l}_i$$

$$\Leftrightarrow W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} * \overrightarrow{AB}$$

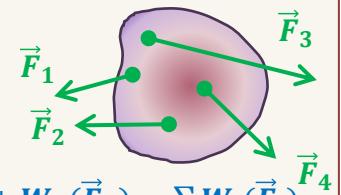
❖ Généralisation

Le travail d'une force constante \vec{F} appliquée à un solide en translation entre deux positions

A et B ne dépend pas de chemin suivi entre ces points : $W_{EF}(\vec{F}) = \vec{F} * \overrightarrow{AB}$

④ Travail d'un ensemble de forces appliquées à un solide en translation

On considère un corps solide en translation et soumis à un ensemble de forces constantes tel que les points d'applications de ces forces subissent le même déplacement .



$$\begin{aligned} \text{Le travail total de ces forces est : } W_{EF}(\vec{F}) &= W_1(\vec{F}_1) + W_2(\vec{F}_2) + \dots + W_n(\vec{F}_n) = \sum W_i(\vec{F}_i) \\ \Leftrightarrow W_{EF}(\vec{F}) &= \vec{F}_1 * \overrightarrow{AB} + \vec{F}_2 * \overrightarrow{AB} + \dots + \vec{F}_n * \overrightarrow{AB} \\ \Leftrightarrow W_{EF}(\vec{F}) &= (\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n) * \overrightarrow{AB} \\ \Leftrightarrow W_{EF}(\vec{F}) &= \sum \vec{F}_i * \overrightarrow{AB} \end{aligned}$$

→ Le travail d'un ensemble de forces constantes appliquées à un solide en translation est égal au produit scalaire de la somme vectorielle de ces forces $\sum \vec{F}_i$ et le vecteur déplacement \overrightarrow{AB} : $W_{EF}(\vec{F}) = \sum \vec{F}_i * \overrightarrow{AB}$.

⑤ Travail du poids d'un corps solide

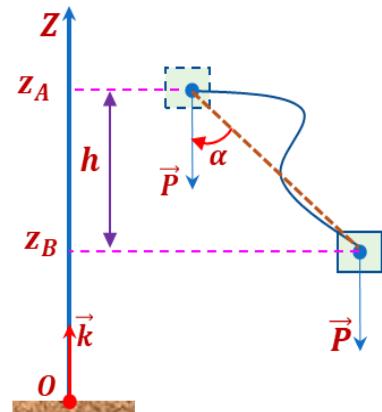
Près de la surface de la terre, le poids est considéré une force constante .

On considère un corps solide (*S*) de masse *m* se déplaçant d'un point *A* à un point *B* .

Le travail de (*S*) lors de son mouvement de *A* à *B*

est : $W_{AB}(\vec{P}) = \vec{P} * \overrightarrow{AB}$
 $\Leftrightarrow W_{AB}(\vec{P}) = P \cdot AB \cdot \cos(\alpha)$

$\Leftrightarrow W_{AB}(\vec{P}) = m \cdot g \cdot AB \cdot \cos(\alpha) \text{ avec } \cos(\alpha) = \frac{Z_A - Z_B}{AB}$
 Donc : $W_{AB}(\vec{P}) = m \cdot g \cdot (Z_A - Z_B) = m \cdot g \cdot h$



❖ Remarque

- Le travail du poids d'un corps est seulement lié à la cote z_A de position initiale et à la cote z_B de position finale , c-à-d il ne dépend pas de la trajectoire suivie .
- Si l'axe (*Oz*) est dirigé vers le bas , l'expression du travail du poids du corps devient :

$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = mg(z_B - z_A) .$

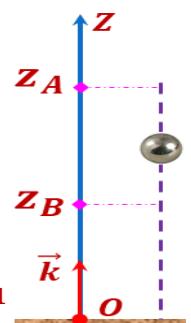
❖ Application

On considère une bille métallique en chute libre sous l'action de son poids .

① Calculer le travail du poids de la bille lorsque son centre d'inertie passe du point *A* de cote $z_A = 25m$ à un point *B* de cote $z_B = 10m$. Quelle est la nature de ce travail ?

② Calculer le travail du poids de la bille lors du passage de son centre d'inertie du point *B* à un point *C* de cote $z_C = 15m$. Quelle est la nature de ce travail ?

Données : la masse de la bille $m = 60g$; l'intensité de pesanteur $g = 10N \cdot kg^{-1}$



① Calculons le travail du poids de la bille lorsque son centre d'inertie passe du point *A* au point *B*

- On a : $W_{AB}(\vec{P}) = mg(z_A - z_B)$
- A.N : $W_{AB}(\vec{P}) = 60 \times 10^{-3} \times 10 \times (25 - 10)$
- On trouve : $W_{AB}(\vec{P}) = 9J$

Puisque $W_{AB}(\vec{P}) > 0$ donc ce travail est moteur.

② Calculons le travail du poids de la entre les positions *B* et *C*

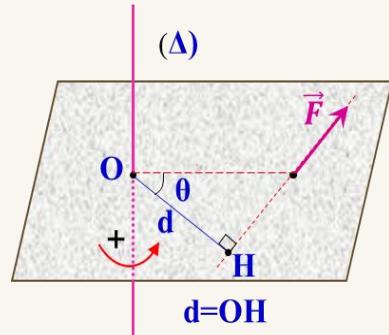
- On a : $W_{BC}(\vec{P}) = mg(z_B - z_C)$
- A.N : $W_{BC}(\vec{P}) = 60 \times 10^{-3} \times 10 \times (10 - 15)$
- On trouve : $W_{BC}(\vec{P}) = -3J$

Puisque $W_{BC}(\vec{P}) < 0$ donc ce travail est résistant.

III Travail d'une force de moment constant

① Le moment d'une force « rappel »

- Le **moment** d'une force \vec{F} par rapport à un axe (Δ) perpendiculaire à sa direction est le **produit** de l'intensité F de la force par d la **distance** entre la direction de la force et l'axe (Δ) : $M_\Delta(\vec{F}) = \pm F \cdot d$
- L'**unité** du **moment** dans le (S.I) est (N.m)



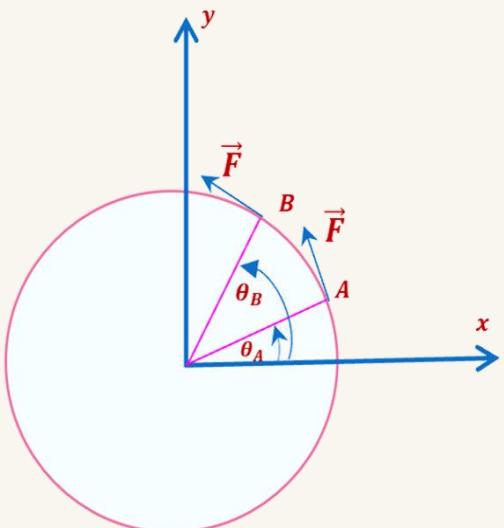
② Travail d'une force de moment constant

Le travail d'une force \vec{F} de moment constant par rapport à l'axe de rotation est égale au produit de moment et de l'angle de rotation :

$$W_{AB}(\vec{F}) = M(\vec{F})_\Delta \cdot \Delta\theta = M(\vec{F})_\Delta \cdot (\theta_B - \theta_A)$$

Tel que :

- $W_{AB}(\vec{F})$: Le travail de la force \vec{F} en (J)
- $\Delta\theta$: La variation de l'abscisse angulaire en (rad).
- $M_\Delta(\vec{F})$: Le moment de la force \vec{F} en (N.m) .



❖ Application

Un disque homogène de rayon $R = 20\text{cm}$, tourne autours d'un axe (Δ) passant par son centre, sous l'action d'une force \vec{F} d'intensité $F = 10\text{N}$ (la figure ci-contre).

- ① Calculer le moment de la force \vec{F} .
- ② Calculer le travail de la force \vec{F} lorsque le disque effectue trois tours complets .

- ① Calculons le moment de la force \vec{F}

$$\text{On a : } M(\vec{F})_{\Delta} = F \cdot R$$

$$\text{AN : } M(\vec{F})_{\Delta} = 10 \times 20 \times 10^{-2}$$

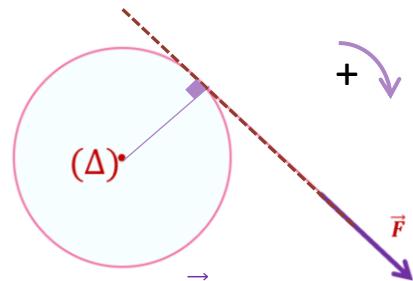
$$\text{On trouve : } M(\vec{F})_{\Delta} = 2\text{N.m}$$

- ② Calculons le travail de la force \vec{F}

$$\text{On a : } W_{AB}(\vec{F}) = M(\vec{F})_{\Delta} \cdot \Delta\theta$$

$$\text{AN : } W_{AB}(\vec{F}) = 2 \times 3\pi$$

$$\text{On trouve : } W_{AB}(\vec{F}) = 18,85\text{J}$$



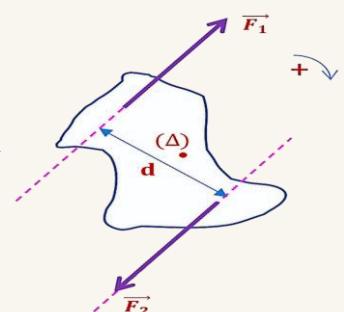
③ Travail d'un couple de moment constant

❖ Le moment d'un couple de deux forces « rappel »

- Deux forces \vec{F}_1 et \vec{F}_2 forment un couple (\vec{F}_1, \vec{F}_2) susceptible

de tourner le solide dans le même sens si :

- Sa somme vectorielle est égale au vecteur nul : $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{0}$
- Ses lignes d'actions ne sont pas confondues .



- Le moment du couple de deux forces par rapport à un axe (Δ) perpendiculaire au plan du couple est égale au produit de l'intensité commune F de deux forces et la distance d entre ses lignes d'action : $M_C = M_{\Delta}(\vec{F}_1, \vec{F}_2) = \pm F \cdot d$

❖ Travail d'un couple de moment constant

Le travail d'un couple de moment constant par rapport à l'axe de rotation est égal le au produit de moment et de l'angle de rotation : $W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = M_C \cdot \Delta\theta = M_C \cdot (\theta_B - \theta_A)$.

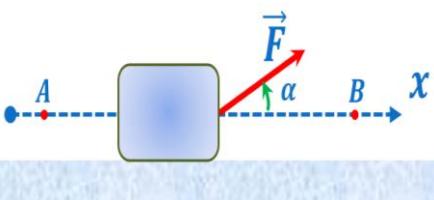
IV La puissance mécanique

① Puissance moyenne

- La puissance moyenne d'une force est le quotient du travail $W_{AB}(\vec{F})$ de cette force par la durée Δt nécessaire pour réaliser ce travail : $P_m = \frac{W_{AB}(\vec{F})}{\Delta t}$
- L'unité de la puissance de le (S.I) est le watt de symbole : (W)

❖ Application

Un solide (S) parcourt une distance $AB = 10\text{m}$ sur une piste horizontale pendant une durée $\Delta t = 2\text{min}$. Le solide (S) est soumis entre les positions A et B à d'une force constante \vec{F} d'intensité $F = 24\text{N}$ et forme un angle $\alpha = 60^\circ$ avec la piste.



① Calculer le travail de la force \vec{F} entre les positions A et B .

② Déduire la puissance de cette force.

① Calculons le travail de \vec{F} entre les positions A et B :

$$\text{On a : } W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} * \overrightarrow{AB}$$

$$W_{AB}(\vec{F}) = F \cdot AB \cdot \cos(\alpha)$$

$$W_{AB}(\vec{F}) = 24 \times 10 \cdot \cos(60)$$

$$W_{AB}(\vec{F}) = 120\text{J}$$

② Calculons la puissance moyenne de la force \vec{F} entre les positions A et B :

$$\text{On a : } P_m = \frac{W_{AB}(\vec{F})}{\Delta t}$$

$$\text{A.N : } P_m = \frac{120}{4 \times 60}$$

$$\text{On trouve : } P_m = 1\text{W}$$

② La puissance instantanée d'une force constante exercée sur un solide en translation

La puissance instantanée d'une force constante est le quotient du travail élémentaire

$\delta W_{AB}(\vec{F})$ de cette force par la durée δt nécessaire pour réaliser ce travail : $P_i = \frac{\delta W_i(\vec{F})}{\delta t}$ où δt est une durée très courte .

Et puisque $\delta W_i(\vec{F}) = \vec{F} * \overrightarrow{\delta l}_i$

$$\text{Donc : } P_i = \frac{\vec{F} * \overrightarrow{\delta l}_i}{\delta t} \Leftrightarrow P_i = \vec{F} * \vec{V}_i$$

③ La puissance instantanée d'une force de moment constant exercée sur un solide en translation

La puissance instantanée d'une force de moment constant est le quotient du travail

élémentaire $\delta W_{AB}(\vec{F})$ de cette force par la durée δt nécessaire pour réaliser ce travail :

$$P_i = \frac{\delta W_i(\vec{F})}{\delta t} \text{ où } \delta t \text{ est une durée très courte .}$$

Et puisque $\delta W_i(\vec{F}) = M_\Delta(\vec{F}) \cdot \Delta\theta$

$$\text{Donc : } P_i = \frac{M_\Delta(\vec{F}) \cdot \Delta\theta}{\delta t} \Leftrightarrow P_i = M_\Delta(\vec{F}) \cdot \omega_i$$

Série d'exercices

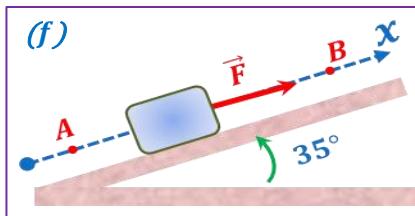
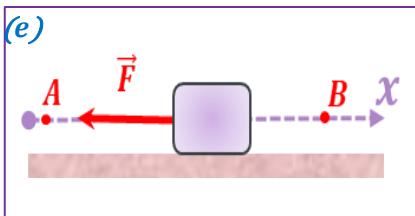
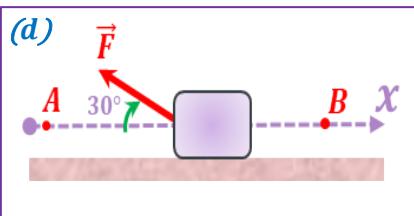
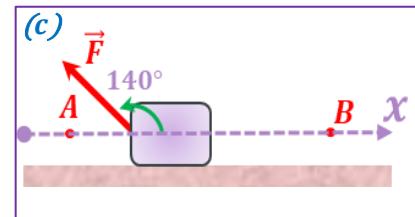
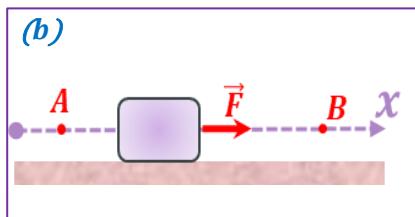
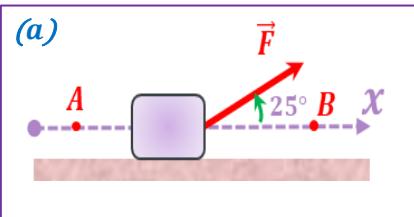
Exercice 1

① Répondre par vrai ou faux .

- Le travail d'une force est toujours positif .
- Le travail d'une force est un scalaire .
- La puissance mécanique s'exprime en joule .
- Lors d'un déplacement horizontal le poids du corps n'a pas de travail .
- Les frottements possèdent un travail résistant .
- Le travail d'une force de moment constant dépend de la position de l'action de rotation .
- Deux forces forment un couple capable de tourner le solide dans le même sens s'elles possèdent la même direction ,même sens et même intensité
- La réaction du plan n'a pas de travail si les frottements sont nuls .

Exercice 2

① Calculer le travail de la force \vec{F} lors du déplacement AB dans chacun des cas suivants :



Données : $F = 20\text{N}$; $AB = 80\text{cm}$

Exercice 2

On soulève un seau d'eau du fond d'un puits en enroulant la corde qui le soutient autour d'un cylindre d'axe horizontal (Δ) et de rayon $R = 30\text{cm}$. Il suffit pour cela d'exercer à l'extrémité A de la manivelle, une force \vec{F} perpendiculaire à OA et d'intensité constante $F = 23,5\text{ N}$.

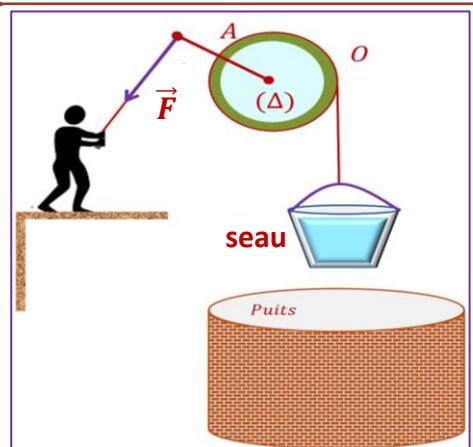
① Combien de tours la manivelle doit - elle effectuer par seconde pour que le seau d'eau se déplace à la vitesse $v = 2\text{m.s}^{-1}$?

② Sachant que la longueur de la manivelle est $OA = 50\text{ cm}$.

Calculer le travail $W(\vec{F})$ que l'opérateur doit fournir pour remonter le seau de masse $m = 12\text{ kg}$ du fond du puits, de profondeur $h = 40\text{ m}$.

③ Calculer la puissance mécanique P fournit par l'opérateur .

On donne : $g = 10\text{N.Kg}^{-1}$. Les frottements sont négligeables

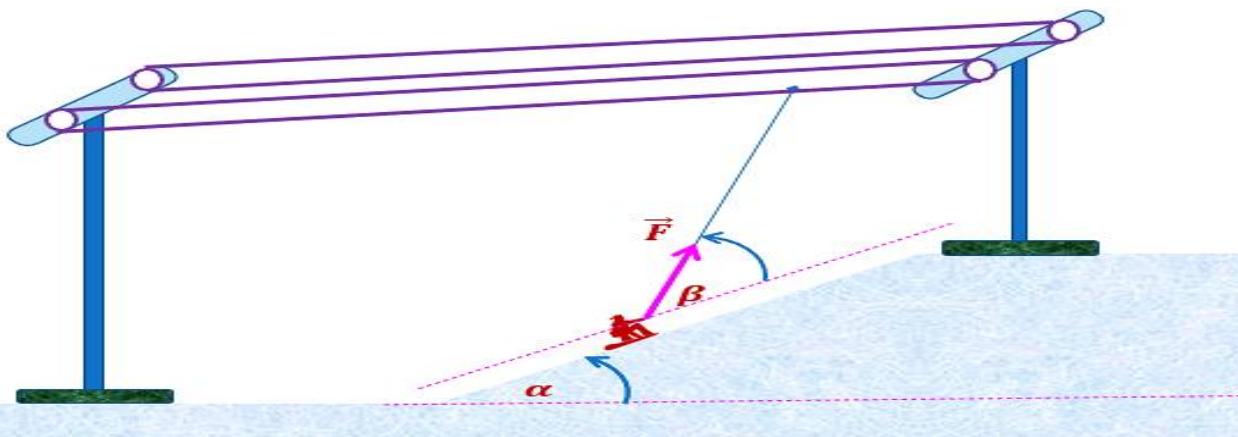


Série d'exercices

Exercice 4

Un skieur et son équipement, de masse $m = 80 \text{ kg}$, remonte une pente rectiligne, inclinée d'un angle $\alpha = 20^\circ$ par rapport à l'horizontal, grâce à un téléski. On modélise les frottements de la neige par une force constante d'intensité constant $f = 30\text{N}$.

Le téléski tire le skieur et son équipement à vitesse constante sur un distance $AB = 1500\text{m}$.

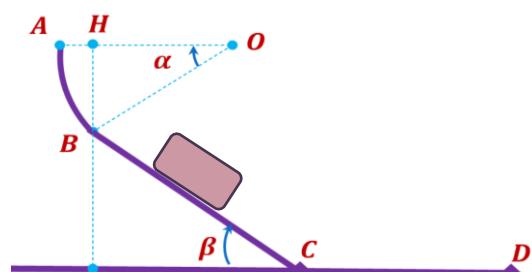


- ① Faire l'inventaire des forces qui s'appliquent au système {skieur + équipement} et les représenter sur le schéma sans souci d'échelle .
- ② Déterminer le travail du poids du système lors de ce déplacement.
- ③ Déterminer le travail de la force de frottement lors de ce déplacement.
- ④ La tension du câble qui tire le système fait un angle $\beta = 60^\circ$ avec la ligne de plus grande pente. Calculer la valeur du travail de la tension du câble et celle de sa puissance sachant que ce déplacement dure dix minutes

Exercice 5

Un corps solide de masse $m = 300\text{g}$ considéré comme ponctuel se déplace le long d'une glissière ABCD située dans un plan vertical. La piste ABCD comprend trois parties :

- Une partie circulaire AB de rayon $R = 40\text{cm}$ tel que $\alpha = 40^\circ$
- Une partie BC rectiligne de longueur L inclinée d'un angle $\beta = 60^\circ$ par rapport à l'horizontal .
- Une partie CD rectiligne et horizontale.



- ① Calculer le travail du poids \vec{P} du mobile pour chacun des déplacements AB, BC et CD.
 - ② Sur la piste BC, le mobile est soumis à des forces de frottement représentées par une force \vec{f} parallèle au plan incliné et de sens contraire au déplacement et d'intensité f . Aussi la vitesse du mobile demeure constante et a pour valeur : $v = 7\text{m.s}^{-1}$
 - a - Calculer le travail et la puissance de la force de frottement sur la partie BC.
 - b - Déterminer la valeur de l'intensité de \vec{f} et celle de la réaction \vec{R} du plan BC
- Données : L'intensité de pesanteur : $g = 10\text{N.Kg}^{-1}$; La distance HG = 1,4m

Travail et énergie cinétique



Situation-problème

Durant son vol, l'avion possède une énergie appelée énergie cinétique, qui est liée à la vitesse et à la masse de cet avion.

- 💡 Qu'est-ce que l'énergie cinétique ? Et comment la calculer ?
- 💡 Quelle relation existe-t-elle entre la variation l'énergie cinétique et la somme des travaux des forces extérieures

Objectifs

- 💡 Définir l'énergie cinétique d'un corps .
- 💡 Savoir calculer l'énergie d'un corps solide en mouvement de translation .
- 💡 Savoir calculer l'énergie cinétique d'un corps solide en mouvement de rotation autour d'un axe fixe .
- 💡 Connaître le théorème de l'énergie cinétique.
- 💡 Savoir exploiter le théorème de l'énergie cinétique pour étudier le mouvement d'un corps solide en translation ou en rotation autour d'un axe fixe .

I Notion de l'énergie cinétique

- En physique, l'énergie cinétique est l'énergie que possède un corps du fait de son mouvement par rapport à un référentiel donné.
- L'unité de l'énergie cinétique dans le système international des unités est le joule (J).

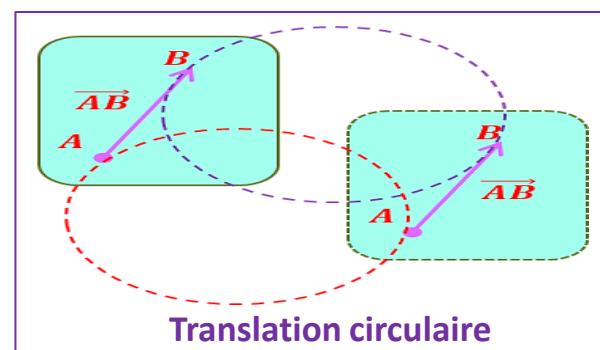
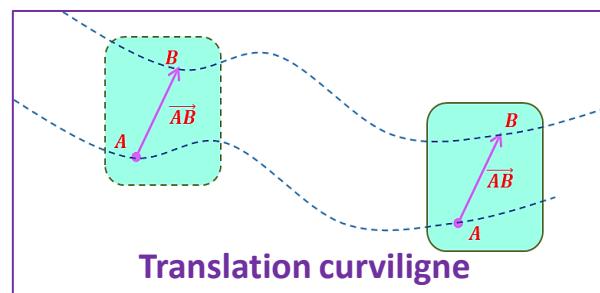
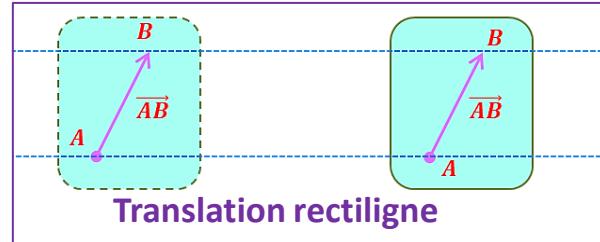
II L'énergie cinétique d'un corps solide en translation

① Mouvement de translation « rappel »

On dit qu'un corps solide est en mouvement de translation, si tout vecteur \overrightarrow{AB} (avec A et B deux points du corps) conserve la même direction, le même sens et la même valeur au cours du mouvement de ce corps : $\overrightarrow{AB} = \text{Cte}$

On distingue trois types de mouvement de translation :

- Translation rectiligne : Les trajectoires de tous les points du corps sont des lignes droites parallèles
- Translation curviligne : les trajectoires des points du corps solide sont des courbes parallèles.
- Translation circulaire: les trajectoires des points du corps solide sont des cercles de même rayon et de centres différents .



② L'énergie cinétique d'un corps solide en mouvement de translation

On définit l'énergie cinétique d'un corps solide en mouvement de translation par rapport à un référentiel donné par la relation suivante : $E_C = \frac{1}{2} mV^2$ avec :

- E_C : l'énergie cinétique du corps en (J)
- m : la masse du corps en (Kg)
- V : la vitesse du corps en (m.s^{-1})

❖ Application

On considère un corps solide (**S**) de masse $m = 2\text{Kg}$ en mouvement rectiligne uniforme de vitesse $v = 30\text{m.s}^{-1}$.

① Calculer l'énergie cinétique du corps (**S**)

② Quelle est la valeur de la vitesse du corps si son énergie cinétique est : $E_C = 1,7\text{KJ}$

① Calculons l'énergie cinétique de (**S**)

$$\text{On a : } E_C = \frac{1}{2}mv^2$$

$$\text{A.N : } E_C = \frac{1}{2} \times 2 \times (30)^2$$

$$\text{On trouve : } E_C = 900\text{J}$$

② Calculons la vitesse du corps (**S**)

$$\text{On a : } E_C = \frac{1}{2}mv^2$$

$$\text{Donc } V = \sqrt{\frac{2E_C}{m}}$$

$$\text{A.N : } V = \sqrt{\frac{2 \times 1,7 \times 10^3}{2}}$$

$$\text{On trouve : } V = 41,23\text{m.s}^{-1}$$

II L'énergie cinétique d'un corps en mouvement de rotation

① Mouvement de rotation d'un solide autour d'un axe fixe « rappel »

Un corps solide est en mouvement de rotation autour d'un axe fixe si tous ses points décrivent des trajectoires circulaires centrées sur l'axe de rotation sauf les points qui appartiennent à cet axe .

② L'énergie cinétique d'un corps solide en mouvement de translation

On définit l'énergie cinétique d'un corps en mouvement de rotation autour d'un axe fixe

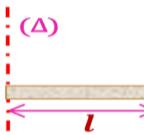
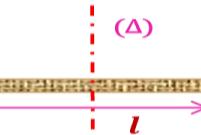
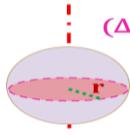
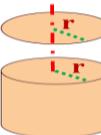
par la relation suivante : $E_C = \frac{1}{2}J_\Delta\omega^2$ avec :

- E_C : l'énergie cinétique du corps en (**J**)
- J_Δ : le moment d'inertie du corps en (Kg.m^2)
- ω : la vitesse angulaire du corps en (rad.s^{-1})

❖ Remarque

Le moment d'inertie d'un corps est une grandeur physique qui exprime la résistance de ce corps à la rotation .

Le tableau suivant donne l'expression du moment d'inertie pour des objets ayant des formes géométriques spécifiques .

Tige	Tige	Ballon	Cylindre	Anneau
				
$J_\Delta = \frac{1}{3}ml^2$	$J_\Delta = \frac{1}{12}ml^2$	$J_\Delta = \frac{2}{5}mr^2$	$J_\Delta = \frac{1}{2}mr^2$	$J_\Delta = mr^2$

❖ Application

On considère un disque (D) de masse $m = 1,5\text{Kg}$ et de rayon $R = 20\text{cm}$ en mouvement de rotation uniforme avec une vitesse angulaire $\omega = 30\text{rad.s}^{-1}$.

① Calculer la valeur du moment d'inertie du disque .

② Calculer l'énergie cinétique du disque .

① On calcule le moment d'inertie du disque

$$\text{On a : } J_{\Delta} = \frac{1}{2}mR^2$$

$$\text{A.N : } J_{\Delta} = \frac{1}{2} \times 1,5 \times (20 \times 10^{-2})^2$$

$$\text{On trouve : } J_{\Delta} = 3 \times 10^{-2}\text{Kg.m}^2$$

② On calcule l'énergie cinétique du disque

$$\text{On a : } E_C = \frac{1}{2}J_{\Delta}\omega^2$$

$$\text{A.N : } E_C = \frac{1}{2} \times 3 \times 10^{-2} \times (30)^2$$

$$\text{On trouve : } E_C = 13,6\text{J}$$

III Théorème de l'énergie cinétique

① Activité

On place un autoporteur de masse $m = 650\text{g}$ sur une table à coussin d'air inclinée d'un angle $\alpha = 15^\circ$ par rapport à l'horizontal et on fixe le générateur d'impulsion sur la valeur : $\tau = 50\text{ms}$ (la figure ①).

On libère l'autoporteur sans vitesse initiale et on enregistre les positions occupées par son centre d'inertie (la figure ②)



- ① Faire le bilan des forces extérieures exercées sur l'autoporteur lors de son mouvement .
- ② Trouver l'expression du travail du poids de l'autoporteur lorsqu'il se déplace de la position G_1 à la position G_3 en fonction de g , m , α et la distance G_1G_3 . Déduire l'expression de la somme des travaux des forces extérieures exercées sur l'autoporteur .
- ③ Trouver l'expression de l'énergie cinétique de l'autoporteur à la position G_1 en fonction de m , τ et la distance G_0G_2 .
- ④ Trouver l'expression de la variation de l'énergie cinétique de l'autoporteur lorsqu'il se déplace de la position G_1 à la position G_3 en fonction de τ , m , G_0G_2 et G_2G_3 .
- ⑤ En se basant sur les résultats des questions précédentes compléter le tableau suivant en calculant la somme des travaux des forces extérieurs exercées sur l'autoporteur et la variation de son énergie cinétique lorsqu'il se déplace de G_1 à G_3 et aussi de G_3 à G_4
- ⑥ Que peut-on déduire à partir des résultats de la question précédente.

1 Les forces exercées sur l'autoporteur sont :

- \vec{P} : poids de l'autoporteur .
- \vec{R} : la réaction de la table .

2

- L'expression du travail du poids de l'autoporteur lors de son déplacement de G_1 à G_3 .

On a : $W_{1,3}(\vec{P}) = mgh$

et d'après la figure ci-contre on a $h = G_1G_3 \sin(\alpha)$

donc $W_{1,3}(\vec{P}) = mgG_1G_3 \sin(\alpha)$

- La somme des travaux de forces extérieures exercées sur l'autoporteur lors de son passage de G_1 à G_3 est : $W_T(\vec{F}_{ex}) = W_{1,3}(\vec{P}) + W_{1,3}(\vec{R})$

Et puisque : $W_{1,3}(\vec{R}) = 0$ (car $\vec{R} \perp G_1G_3$)

On aura : $W_T(\vec{F}_{ex}) = W_{1,3}(\vec{P}) = mgG_1G_3 \sin(\alpha)$

- 3** Déterminons l'expression de l'énergie cinétique de l'autoporteur à la position G_1

On a : $E_{C1} = \frac{1}{2}mV_1^2$ avec $V_1 = \frac{G_0G_2}{2\tau}$

Donc : $E_{C1} = \frac{1}{2}m\left(\frac{G_0G_2}{2\tau}\right)^2$

- 4** Déterminons l'expression de la variation de l'énergie cinétique de l'autoporteur lors de son passage de G_1 à G_3 .

On l'énergie de l'autoporteur à la position G_1 est : $E_{C1} = \frac{1}{2}m\left(\frac{G_0G_2}{2\tau}\right)^2$

On l'énergie de l'autoporteur à la position G_3 est : $E_{C3} = \frac{1}{2}m\left(\frac{G_2G_4}{2\tau}\right)^2$

Donc : $\Delta E_C = E_{C3} - E_{C1}$

Alors : $\Delta E_C = \frac{1}{2}m\left[\left(\frac{G_2G_4}{2\tau}\right)^2 - \left(\frac{G_0G_2}{2\tau}\right)^2\right] = \Delta E_C = \frac{1}{8\tau^2}m\left[(G_2G_4)^2 - (G_0G_2)^2\right]$

5

- On calcule la somme des travaux des forces extérieures exercées sur l'autoporteur et la variation de son énergie cinétique lorsqu'il se déplace de G_1 à G_3 et aussi de G_3 à G_4 .

Lors du déplacement de G_1 à G_3

On : $W_T(\vec{F}_{ex}) = mgG_1G_3 \sin(\alpha)$

A.N : $W_T(\vec{F}_{ex}) = 0,65 \times 9,81 \times 2,5 \times 10^{-2} \times \sin(15)$

On trouve : $W_T(\vec{F}_{ex}) \approx 4,1 \times 10^{-2} J$

Et on a : $\Delta E_C = \frac{1}{8\tau^2}m\left[(G_2G_4)^2 - (G_0G_2)^2\right]$

A.N : $\Delta E_C = \frac{1}{8(50 \times 10^{-3})^2} \times 0,65 \left[(0,038)^2 - (0,013)^2\right]$

On $\Delta E_C \approx 4,1 \times 10^{-2} J$

- Calculons la somme des travaux des forces extérieures exercées sur l'autoporteur et la variation de son énergie cinétique lorsqu'il se déplace de G_3 à G_4 .

On : $W'_T(\vec{F}_{ex}) = mgG_3G_4 \sin(\alpha)$

A.N : $W'_T(\vec{F}_{ex}) = 0,65 \times 9,81 \times 2,3 \times 10^{-2} \times \sin(15)$

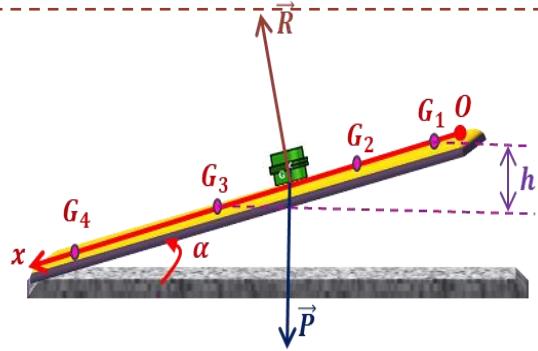
On trouve : $W'_T(\vec{F}_{ex}) \approx 3,8 \times 10^{-2} J$

Et on a : $\Delta E'_C = \frac{1}{8\tau^2}m\left[(G_3G_4)^2 - (G_2G_4)^2\right]$

A.N : $\Delta E'_C = \frac{1}{8(50 \times 10^{-3})^2} \times 0,65 \left[(0,051)^2 - (0,038)^2\right]$

On $\Delta E'_C \approx 3,8 \times 10^{-2} J$

- Le tableau suivant montre les résultats obtenus .



Déplacement	De G_1 à G_3	De G_3 à G_4
La variation de l'énergie cinétique ΔE_C en (J)	$4,1 \times 10^{-2}$	$3,8 \times 10^{-2}$
La somme de travaux des forces exercées $W_T(\vec{F}_{ex})$ en (J)	$4,1 \times 10^{-2}$	$3,8 \times 10^{-2}$

② Conclusion

Dans un repère galiléen, la variation de l'énergie cinétique d'un corps solide indéformable en mouvement de translation ou en mouvement de rotation autour d'un axe fixe entre deux instants est égale à la somme algébrique des travaux des forces extérieures qui s'exercent sur ce corps entre ces deux instants : $\Delta E_{C_{AB}} = \sum W_{AB} (\vec{F}_{ex})$

Série d'exercices

Exercice 1

Un véhicule de masse $m = 1,24\text{tonne}$ roule sur une route horizontale avec une vitesse constante $V = 80\text{Km.h}^{-1}$ par rapport à un référentiel terrestre supposé galiléen.

- ① Donner l'expression de l'énergie cinétique du véhicule .
- ② Calculer la valeur de l'énergie cinétique du véhicule .
- ③ Quelle est la valeur de la somme des travaux des forces extérieurs exercées sur le véhicule.
Justifier la réponse .

Exercice 2

L'équation horaire de l'abscisse angulaire d'un point d'un cylindre est : $\theta = 40t + \frac{\pi}{4}$

On étudie le mouvement du cylindre par rapport à un référentiel terrestre supposé galiléen

- ① Quelle est la nature du mouvement du cylindre ?
- ② Donner l'expression de l'énergie cinétique du cylindre en fonction de ω , m et R .
- ③ Calculer la valeur de l'énergie cinétique du cylindre .
- ④ Quelle est la valeur de la somme des travaux des forces extérieurs exercées sur le cylindre?
Justifier la réponse .

La masse du cylindre : $m = 2,5\text{Kg}$

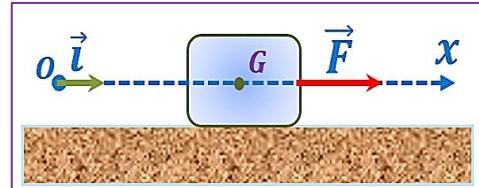
Données : Le rayon du cylindre : $R = 30\text{cm}$

Le moment d'inertie du cylindre : $J_\Delta = \frac{1}{2}mR^2$

Exercice 3

On considère un corps solide (**S**) de masse **m** en mouvement sur un plan horizontal sous l'action d'une force constante d'intensité $\vec{F} = 10N$. On étudie le mouvement du corps (**S**) par rapport à un repère $R(O, \vec{i}, \vec{j})$ lié à un référentiel terrestre supposé galiléen.

À l'instant $t = 0$, le centre **G** du solide quitte le point **O** avec une vitesse initiale $V_0 = 20m.s^{-1}$, puis il s'arrête après avoir parcouru d'une distance : $d = 120m$



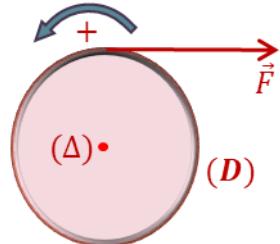
- ① Déterminer les forces extérieures exercées sur (**S**) .
- ② Calculer le travail de la force \vec{F} lors du mouvement du corps (**S**) .
- ③ Calculer la variation de l'énergie cinétique du corps (**S**) lors de son mouvement .
- ④ En appliquant le théorème de l'énergie cinétique sur le corps (**S**) lors de son mouvement, montrer que le contact du ce corps et le plan horizontal se fait avec frottement.
- ⑤ Calculer la valeur de l'intensité de la force frottement exercée par le plan horizontal sur (**S**)

Exercice 4

Un disque (**D**) de rayon $R = 35cm$ et de masse $M = 4,5Kg$ tourne sans frottement autour d'un axe fixe (Δ) passant par son centre d'inertie avec un vitesse angulaire constante

$\omega_0 = 50rad.s^{-1}$. L'expression du moment d'inertie du disque est : $J_\Delta = \frac{1}{2}MR^2$

- ① Calculer la valeur du moment d'inertie du disque .
- ② Pour arrêter ce disque, on lui applique une force tangentielle \vec{F} d'intensité constante .
 - a – Déterminer les forces exercées sur le disque.
 - b – En appliquant le théorème de l'énergie cinétique sur le disque, déterminer le travail de la force \vec{F} .
 - c – Déduire l'intensité de la force \vec{F} sachant que le disque a effectué **20 tours** au cours du freinage .
 - d – Calculer la variation de l'énergie cinétique du disque lors du freinage



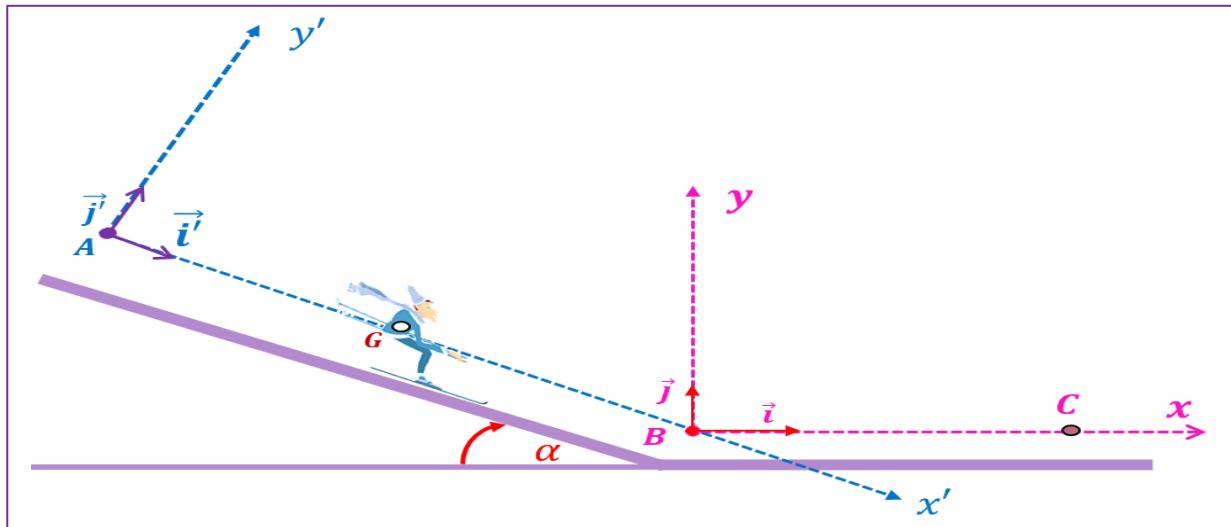
Exercice 5

Cet exercice vise à étudier le mouvement d'un skieur sur une piste formée par deux parties

- Une pente **AB** incliné d'un angle $\alpha = 30^\circ$ par rapport au plan horizontal .
- Une piste **BC** horizontale .

Données

- Masse du skieur et ses accessoires $m = 80\text{kg}$
- L'intensité du champ de pesanteur $g = 10\text{N/Kg}$
- La longueur de pente AB est : $L = 20\text{m}$
- La longueur de la piste BC est: $d = 30\text{m}$



I-Etude du mouvement sur la pente AB

Etudions le mouvement de **G** centre d'inertie du skieur dans un repère $R'(A, \vec{i}', \vec{j}')$ lié à un référentiel terrestre supposé galiléen. Les frottements supposés négligeables .

Le skieur part du point **A** sans vitesse initial à l'instant $t = 0$

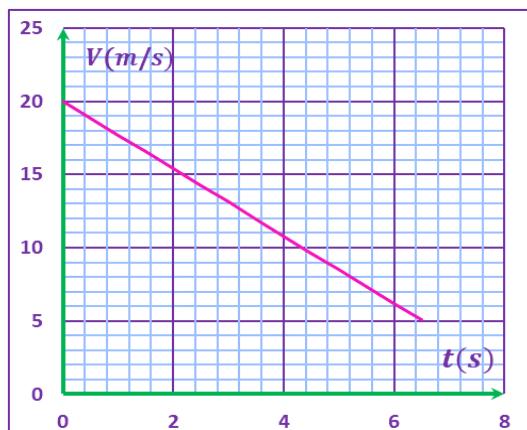
- ① Quelles sont les forces appliquées sur le skieur et ses accessoires.
- ② Exprimer le travail du poids du skieur en fonction de g , L , m et α .
- ③ En appliquant le théorème de l'énergie cinétique entre les positions **A** et **B** trouver l'expression de la vitesse V_B en fonction de g , L et α

II-Etude du mouvement sur la piste BC

Le centre d'inertie **G** du skieur passe par le point **B** à une instant considéré comme une nouvelle origine des dates ($t = 0$) . Etudions le mouvement de **G** dans le repère $R(B, \vec{i}, \vec{j})$

Par un système d'acquisition convenable on obtient la variation de vitesse **V** de **G** en fonction du temps

- ① Quelles sont les forces appliquées sur le skieur et ses accessoires sur la piste **BC** .
- ② Calculer l'énergie cinétique du skieur au point **B**
- ③ Le skieur passe par le point **C** à un instant $t_C = 6\text{s}$
 - a** –Montre que le mouvement du skieur sur la pente **BC** se fait avec frottement, en calculant son travail .
 - b** – Déduire la valeur de l'intensité de la force de frottement





Situation-problème

Grâce à sa position par rapport à la Terre, le nageur possède une énergie appelée l'énergie potentielle de pesanteur.

- 💡 Qu'est-ce que l'énergie potentielle ? Comment peut-on la calculer ?
- 💡 Qu'est-ce que l'énergie mécanique ? Comment peut-on la calculer ?

Objectifs

- 💡 Définir l'énergie potentielle de pesanteur et savoir la calculer.
- 💡 Connaître la relation entre la variation de l'énergie potentielle de pesanteur et le travail du poids.
- 💡 Définir l'énergie mécanique d'un corps solide et savoir la calculer.
- 💡 Savoir que l'énergie potentielle de pesanteur se transforme en énergie cinétique et vice versa .
- 💡 Définir l'énergie mécanique d'un corps solide et savoir la calculer.
- 💡 Connaître les conditions de conservation de l'énergie mécanique.
- 💡 Connaître les raisons pour lesquelles l'énergie mécanique n'est pas conservée.

I

L'énergie potentielle de pesanteur

① Définition

- L'énergie potentielle de pesanteur d'un corps dans le champ de pesanteur est l'énergie que possède grâce à sa position par rapport à la Terre .
- L'énergie potentielle de pesanteur est symbolisée par E_{pp} son unité est le joule (J).

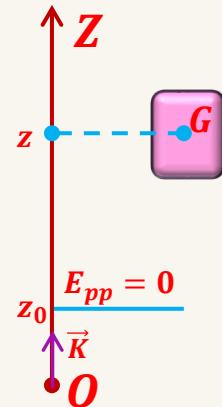
❖ Exemple

- L'eau de barrage possède une énergie potentielle due à sa position par rapport à la Terre. Cette énergie peut-être exploiter pour produire de l'électricité.



② l'expression de l'énergie potentielle de pesanteur

- L'énergie potentielle de pesanteur d'un corps par rapport à un repère d'axe (OZ) vertical orienté vers le haut est donnée par la relation suivante : $E_{pp} = mgz + c$ tel que :
 - m : la masse du corps en kg
 - z : l'altitude du centre d'inertie du corps en m
 - g : l'intensité de pesanteur en $N \cdot kg^{-1}$
 - c : constante qui dépend de l'état de référence (l'état où $E_{pp} = 0$)



Soit z_0 est l'altitude de l'état de référence dans ce cas on a : $E_{pp}(z_0) = 0$.

Alors : $mgz_0 + c = 0 \Leftrightarrow c = -mgz_0$.

Donc l'expression de l'énergie potentielle devient: $E_{pp} = mg(z - z_0)$.

❖ Remarque

Si l'axe (OZ) est orienté vers le bas, l'expression de l'énergie potentielle de pesanteur devient : $E_{pp} = -mgz + c$.

❖ Application

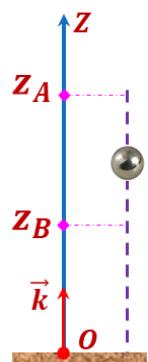
On considère une bille métallique on chute libre sous l'action de son poids .

On choisit le plan horizontal passant par le point le point **B** d'altitude $z_B = 12\text{cm}$ z_A comme référence de l'énergie potentielle de pesanteur.

① Calculer l'énergie potentielle de pesanteur de la bille au point **A** d'altitude $z_A = 25\text{m}$ à un

② Calculer l'énergie potentielle de pesanteur de la bille au point **O** .

Données : la masse de la bille $m = 150\text{g}$; l'intensité de pesanteur $g = 10\text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$



① On calcule l'énergie potentielle de pesanteur de la bille au point A .

- On a : $E_{pp}(A) = mg(z_A - z_B)$
- A.N : $E_{pp}(A) = 150 \times 10^{-3} \times 10 \times (25 - 12) \times 10^{-2}$
- On trouve : $E_{pp}(A) = 0,195J$

② On calcule l'énergie potentielle de pesanteur de la bille au point O .

- On a : $E_{pp}(O) = mg(z_O - z_B)$
- A.N : $E_{pp}(O) = 150 \times 10^{-3} \times 10 \times (0 - 12) \times 10^{-2}$
- On trouve : $E_{pp}(O) = -0,18J$

③ La variation de l'énergie potentielle de pesanteur

❖ Activité

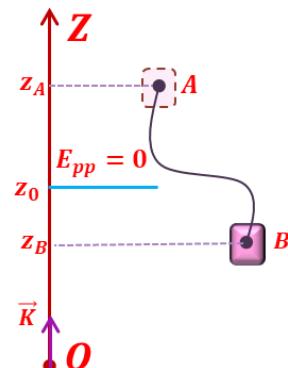
On considère un corps solide (**S**) de masse **m** se déplaçant d'un point **A** à un point **B** .

- ① Données l'expression l'énergie potentielle de (**S**) au point **A** en puis au point **B**.
- ② Trouver l'expression de la variation l'énergie potentielle de (**S**) lors de son passage de **A** à **B** en fonction de **m**, **g**, **z_A** et **z_B**.
- ③ Exprimer le travail du poids de (**S**) lors de son passage de **A** à **B**. Que peut-on conclure?

① L'expression l'énergie potentielle de (**S**)

$$\text{Au point A : } E_{pp}(A) = mg(z_A - z_0)$$

$$\text{Au point B : } E_{pp}(B) = mg(z_B - z_0)$$



② L'expression de la variation l'énergie potentielle de (**S**) lors de son passage de A à B.

$$\begin{aligned} \text{On a : } \Delta E_{pp} &= E_{pp}(B) - E_{pp}(A) \Leftrightarrow \Delta E_{pp} = mg(z_B - z_0) - mg(z_A - z_0) \\ &\Leftrightarrow \Delta E_{pp} = mg(z_B - z_A) \end{aligned}$$

③ L'expression du travail du poids de (**S**) lors de son passage de A à B.

$$\text{On a : } W_{AB}(\vec{P}) = mg(z_A - z_B) = -\Delta E_{pp}$$

On déduit que la variation de l'énergie potentielle de pesanteur de (**S**) est égale à l'opposé du travail de son poids

❖ Conclusion

- La variation de l'énergie potentielle d'un corps solide ne dépend pas de l'état de référence, elle ne dépend que de l'altitude de la position initiale et celui de la position finale.
- La variation de l'énergie potentielle d'un corps solide entre de positions A et B est égale à l'opposé du travail de son poids: $\Delta E_{pp} = E_{pp}(B) - E_{pp}(A) = -W_{AB}(\vec{P})$

II L'énergie mécanique d'un corps solide

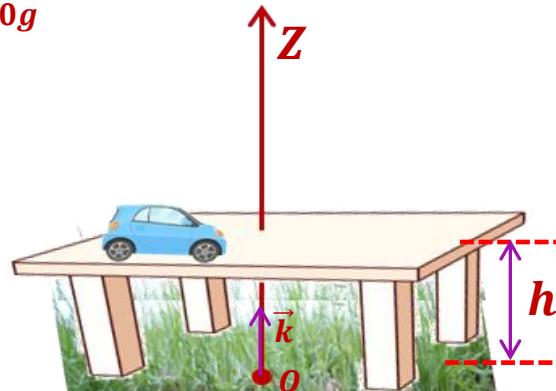
① Définition

Par rapport à un référentiel donné, l'énergie mécanique d'un corps solide est égale à la somme de son énergie potentielle de pesanteur et son énergie cinétique : $E_m = E_{pp} + E_c$

❖ Application

Une petite voiture (jeu d'enfants) de masse $m = 260\text{g}$ est en mouvement rectiligne uniforme avec une vitesse $V = 1,2\text{m.s}^{-1}$ sur une table horizontale de hauteur $h = 0,7\text{m}$. Étudions le mouvement cette voiture par rapport à un repère d'axe (OZ) vertical lié au sol.

- ① Calculer l'énergie cinétique de la voiture.
- ② Calculer l'énergie potentielle de pesanteur de la voiture sachant que $E_{pp}(O) = 0J$.
- ③ Calculer l'énergie mécanique de la voiture.



- ① On calcule l'énergie cinétique de la voiture l'énergie cinétique.

$$\text{On a : } E_c = \frac{1}{2} m \cdot V^2$$

$$\text{A.N : } E_c = \frac{1}{2} \times 260 \times 10^{-3} \times 0,24^2 = 1,87 \times 10^{-1}\text{J}$$

- ② On calcule l'énergie potentielle de pesanteur de la voiture .

$$\text{On a : } E_{pp} = mg(z - z_0) \text{ avec } z_0 = 0 \text{ et } z = h$$

$$\text{Donc : } E_{pp} = mgh$$

$$\text{A.N : } E_{pp} = 260 \times 10^{-3} \times 10 \times 0,7 = 1,82\text{J}$$

- ③ On calcule l'énergie mécanique de la voiture.

$$\text{On a : } E_m = E_c + E_{pp}$$

$$\text{A.N : } E_m = 1,87 \times 10^{-1} + 1,82 = 2,01\text{J}$$

② La conservation de l'énergie mécanique d'un corps solide

❖ Cas de chute libre

- La chute libre

Un corps est en chute libre s'il est soumis uniquement à son poids \vec{P} .

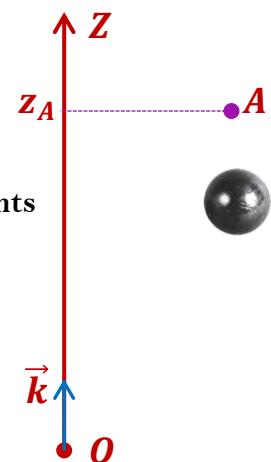
La chute du corps solide dans l'air est supposée libre lorsqu'on néglige l'action de l'air sur ce corps.

■ Activité

On lâche une bille métallique de masse m sans vitesse initiale d'un point **A** d'altitude z_A . On néglige la résistance de l'air et on étudie le mouvement du centre d'inertie de la bille par rapport à un repère d'axe (**OZ**) orienté vers le haut .

On prend : $E_{pp}(0) = 0J$

- ① Faire l'inventaire des forces extérieures exercées sur la bille
- ② Exprimer la variation l'énergie potentielle de la bille entre les points **A** et **B** en fonction de g , z_A et m .
- ③ En appliquant le théorème de l'énergie cinétique entre **A** et **O** trouver l'expression de l'énergie cinétique de la bille en **O** .
- ④ Exprimer la variation de l'énergie mécanique de la bille en les positions **A** et **O** . Que peut-on déduire?



① Puisque la balle est en chute libre, elle n'est soumise qu'à son poids \vec{P} .

② L'expression de l'énergie mécanique de la bille lors de son mouvement de **A** à **B**

$$\text{On a : } \Delta E_{PP} = mg(Z_0 - Z_A)$$

③ D'après le théorème de l'énergie cinétique, on a: $\Delta E_{cAO} = W_{AB}(\vec{P})$

$$\text{Donc } \Delta E_{cAO} = mg(Z_A - Z_0)$$

$$\text{Ou bien : } E_c(A) = 0$$

$$\text{D'où : } \Delta E_{cAO} = -mg(Z_0 - Z_A)$$

④ On détermine la variation de l'énergie mécanique de la bille en les positions **A** et **O** .

$$\text{On a : } \Delta E_{mAO} = \Delta E_{ppAO} + \Delta E_{cAO} \Leftrightarrow \Delta E_{mAO} = -mg(Z_0 - Z_A) + mg(Z_0 - Z_A)$$

$$\text{Donc : } \Delta E_{mAO} = 0 \Leftrightarrow E_{mAO} = Cte$$

Puisque ΔE_{mAO} , alors l'énergie mécanique de la bille en chute libre se conserve $E_m = Cte$

■ Conclusion

- L'énergie mécanique d'un corps solide en mouvement de chute libre se conserve : $E_m = Cte$ c.à.d. que l'énergie potentielle se transforme en énergie cinétique et vice versa.
- On dit que le poids est une force conservative.

❖ Cas d'un solide en mouvement sans frottement sur un plan incliné

▪ Activité

On un corps solide de masse m glisse sans frottement sur un plan incliné d'un angle α par rapport à l'horizontal . On prend : $E_{pp}(A) = 0J$

① Faire l'inventaire des forces extérieurs exercées sur la bille

② Exprimer la variation de l'énergie potentielle du corps

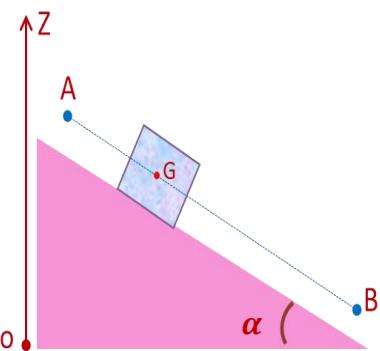
entre A et B en fonction de g , AB , α et m .

③ En appliquant le théorème de l'énergie cinétique entre A et B

exprimer la variation de l'énergie cinétique du corps entre A et B en fonction de g , AB , α et m .

④ Exprimer la variation de l'énergie mécanique du corps

positions A et B . Que peut-on déduire ?



① Le corps (S) est soumis à deux forces :

\vec{P} : le poids de (S)

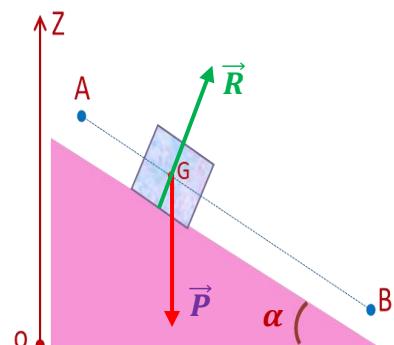
\vec{R} : la réaction du plan

② L'expression de la variation de l'énergie potentielle de (S)

$$\text{On a : } \Delta E_{ppAB} = -W_{AB}(\vec{P})$$

$$\Leftrightarrow \Delta E_{ppAB} = -mgh \text{ avec } h = AB \cdot \sin(\alpha)$$

$$\Leftrightarrow \Delta E_{ppAB} = -mgAB \cdot \sin(\alpha)$$



③ D'après le théorème de l'énergie cinétique, on a: $\Delta E_{cAB} = W_{AB}(\vec{P}) + W_{AB}(\vec{R})$

Avec $W_{AB}(\vec{R}) = 0$ (car $\vec{R} \perp \vec{AB}$) et $W_{AB}(\vec{P}) = mgAB \cdot \sin(\alpha)$

$$\text{Donc : } \Delta E_{cAB} = mgAB \cdot \sin(\alpha)$$

④ On détermine la variation de l'énergie mécanique de la bille en les positions A et B .

$$\text{On a : } \Delta E_{mAB} = \Delta E_{ppAB} + \Delta E_{cA} \Leftrightarrow \Delta E_{mAB} = -mgAB \cdot \sin(\alpha) + mgAB \cdot \sin(\alpha)$$

$$\text{On aura : } \Delta E_{mAB} = 0$$

Puisque ΔE_m , alors l'énergie mécanique de (S) se conserve $E_m = Cte$

▪ Conclusion

- Lorsqu'un corps solide est en mouvement sans frottement son énergie mécanique se conserve : $E_m = Cte$
- En absence de frottements, les forces de contact sont conservatives .

③ Non-conservation de l'énergie mécanique d'un corps solide

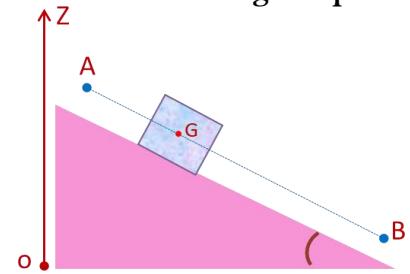
- Activité

On un corps solide de masse m glisse avec frottement sur un plan incliné d'un angle α par rapport à l'horizontal .

On suppose que les frottements sont équivalents à une force \vec{f}

d'intensité constante et on prend : $E_{pp}(A) = 0J$

① Faire l'inventaire des forces extérieurs exercées sur la bille



② Exprimer la variation de l'énergie potentielle du corps entre A et B en fonction de g , AB , α et m .

③ En appliquant le théorème de l'énergie cinétique entre A et B

exprimer la variation de l'énergie cinétique du corps entre A et B en fonction de g , AB , α , m et f .

④ Exprimer la variation de l'énergie mécanique du corps

positions A et B . Que peut-on déduire ?

① Le corps (S) est soumis à deux forces :

\vec{P} : le poids de (S)

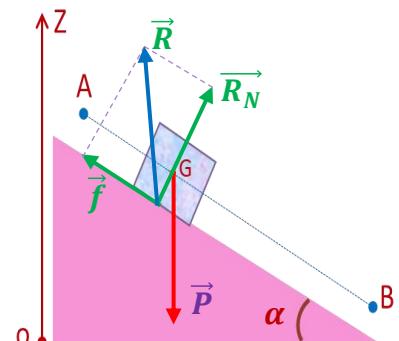
\vec{R} : la réaction du plan

② L'expression de la variation de l'énergie potentielle de (S)

On a : $\Delta E_{ppAB} = -W_{AB}(\vec{P})$

$\Leftrightarrow \Delta E_{ppAB} = -mgh$ avec $h = AB \cdot \sin(\alpha)$

$\Leftrightarrow \Delta E_{ppAB} = -mgAB \cdot \sin(\alpha)$



③ D'après le théorème de l'énergie cinétique, on a: $\Delta E_{cAB} = W_{AB}(\vec{P}) + W_{AB}(\vec{R})$

Avec $W_{AB}(\vec{R}) = -f \cdot AB$ et $W_{AB}(\vec{P}) = mgAB \cdot \sin(\alpha)$

Donc : $\Delta E_{cAB} = mgAB \cdot \sin(\alpha) - f \cdot AB$

④ On détermine la variation de l'énergie mécanique de la bille en les positions A et B .

On a : $\Delta E_{mAB} = \Delta E_{ppAB} + \Delta E_{cA} \Leftrightarrow \Delta E_{mAB} = -mgAB \cdot \sin(\alpha) + mgAB \cdot \sin(\alpha) - f \cdot AB$

On aura : $\Delta E_{mAB} = -f \cdot AB < 0$

Puisque $\Delta E_m < 0$ alors l'énergie mécanique de (S) décroît au cours du mouvement.

- Conclusion

Lorsqu'un corps solide est en mouvement avec frottement son énergie mécanique n'est pas conservée, et sa variation est égale au travail des forces de frottements.

On dit que les forces de frottements ne sont pas conservatives : $\Delta E_m = W(\vec{f}) = -Q$ où Q est la quantité de chaleur cédée au milieu extérieur.

Série d'exercices

Exercice 1

① Répondre par vrai ou faux .

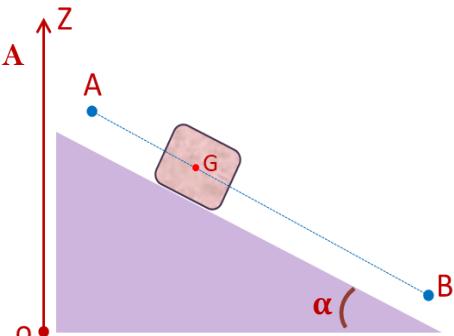
- L'énergie mécanique d'un corps se conserve quel que soit la nature de son mouvement.
- Lors de la chute libre verticale d'un corps, son énergie potentielle de pesanteur reste inchangée.
- Lors du mouvement sans frottement, son énergie cinétique diminue lorsque son énergie potentielle augmente.
- La variation de l'énergie cinétique d'un corps en chute libre est égale au travail de son poids.
- Les frottements sont des forces non conservatives.

Exercice 2

Un corps solide (**S**) de masse $m = 2\text{Kg}$ est abandonné sans vitesse initiale d'un point **A** d'une piste **AB** rectiligne et incliné d'un angle $\alpha = 27^\circ$ par rapport à l'horizontal. On suppose que les frottements sont négligeables et on étudie le mouvement de (**S**) par rapport à un repère d'axe (**OZ**) vertical et dirigé vers le haut.

On choisit le plan horizontal passe par le point **B** comme référence de l'énergie potentielle de pesanteur.

- ① Calculer l'énergie potentielle de pesanteur de (**S**) au point **A**
- ② Calculer l'énergie mécanique de (**S**) au point **A**
- ③ Par application du principe de conservation de l'énergie mécanique entre les positions **A** et **B**, calculer la vitesse du centre d'inertie de (**S**) en **B** .
- ④ On réalité, les frottements ne sont pas négligeables et le centre d'inertie de (**S**) atteint le point **B** avec une vitesse $V_B = 1,3 \text{m.s}^{-1}$.
 - a – Calculer le travail de force de frottement.
 - b – Calculer l'intensité de la force de frottement.



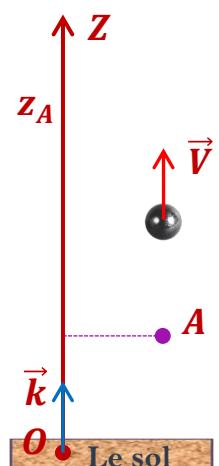
Données : $g = 10\text{N.Kg}^{-1}$; $AB = 80\text{cm}$

Exercice 3

Une bille métallique est lancée vers le haut d'un point **A** avec une vitesse initiale $V_A = 7\text{m.s}^{-1}$. On suppose que les frottements sont négligeables et on étudie le mouvement de la bille par rapport à un repère d'axe (**OZ**) vertical et dirigé vers le haut.

On choisit le plan horizontal passe par le point **B** comme référence de l'énergie potentielle de pesanteur.

- ① Calculer l'énergie mécanique de la bille au point **A**
- ② Calculer la valeur de la hauteur maximale h_{\max} atteinte par la bille au cours de son mouvement.
- ③ Calculer la valeur de la vitesse de la bille lorsqu'elle touche le sol

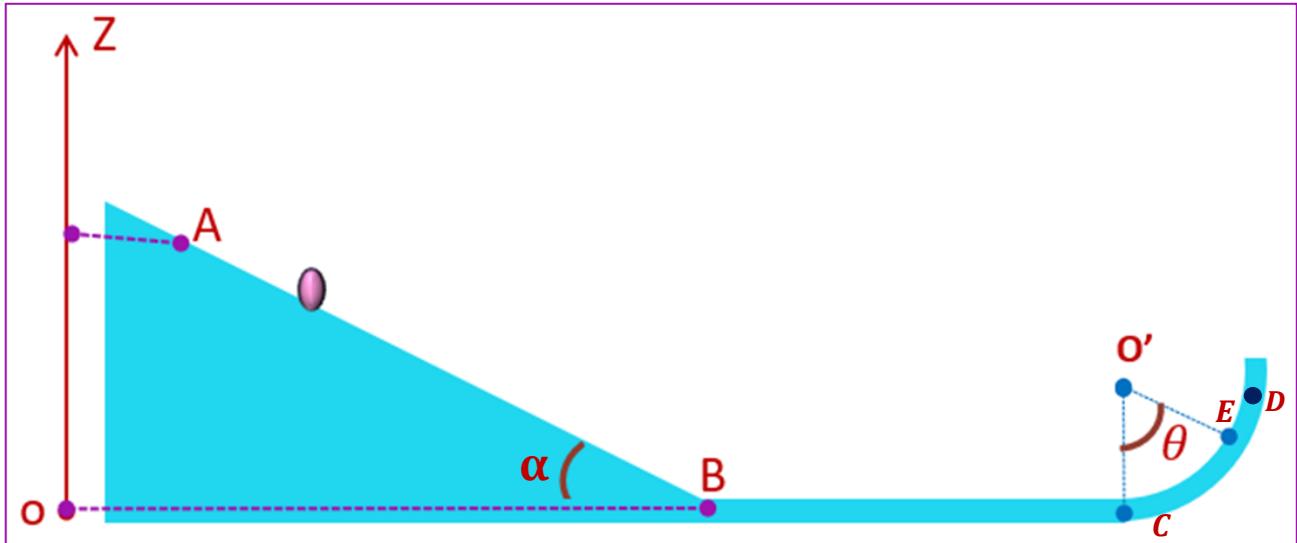


Exercice 4

On considère un corps solide (S) de petite taille et de masse $m = 2\text{Kg}$ en mouvement sur un support **ABCD**

constitué de trois parties :

- Une partie **AB** rectiligne et incliné d'un angle α par rapport au plan horizontal.
- Une partie **BC** rectiligne et horizontale de longueur $BC = 7\text{m}$
- Une partie **CD** circulaire de rayon $R = 2,5\text{m}$



I-Étude du mouvement de (S) sur la partie AB

Le solide (S) est lancé à partir du point **A** sans vitesse initiale et atteint le point **B** avec une vitesse $V_B = 11\text{m.s}^{-1}$. Les frottements sont négligeables sur cette partie.

- ① Calculer l'énergie cinétique de (S) au point **B** .
- ② Calculer l'énergie mécanique (S) au point **B**.
- ③ Par application du principe de conservation de l'énergie mécanique entre **A** et **B** , calculer l'énergie potentielle de pesanteur de (S) en **A** .
- ④ Déduire la valeur de la distance **AB**

II-Étude du mouvement de (S) sur la partie BC

Le solide (S) continue son mouvement sur le partie **BC**. Sur cette partie les frottements sont modélisés par une force \vec{f} constante d'intensité $f = 5\text{N}$

- ① Calculer le travail de la force de frottement quand le solide (S) se déplace de **B** à **C** .
- ② Par application du théorème de l'énergie cinétique, calculer la vitesse de (S) en **C** .
- ③ Calculer la valeur de l'énergie mécanique de (S) en **C** .
- ④ Déduire la valeur de la quantité de chaleur cédée sur cette partie.

III-Étude du mouvement de (S) sur la partie DC

Sur cette partie les frottements sont supposés négligeables

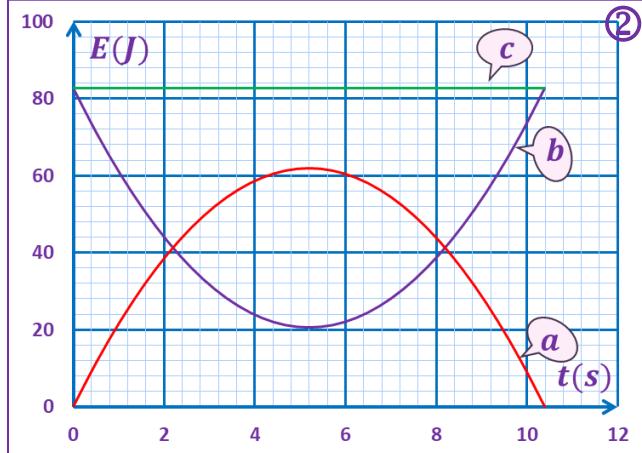
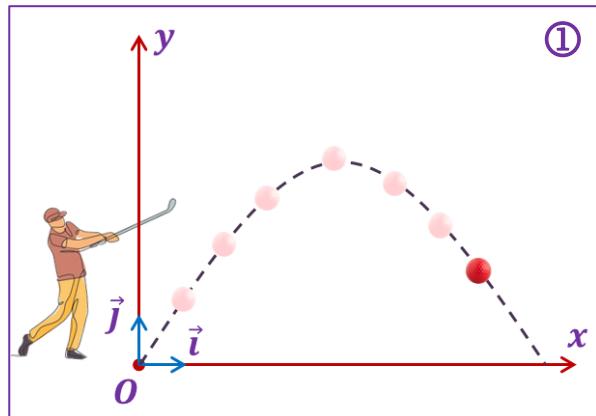
- ① Trouver l'expression de l'énergie potentielle de pesanteur de (S) au point **E** en fonction de R , m , g et l'angle θ
- ② Sachant que **D** est le point le plus éloigné atteint par le corps. Montrer que/

$$\cos\theta_D = 1 - \frac{v_c^2}{2gR}$$
. Calculer la valeur l'angle θ_D .

Série d'exercices

Exercice 5

Un joueur lance une balle de golf de masse $m = 45,93\text{g}$ d'un point O avec une vitesse initiale \vec{V}_0 . Étudions le mouvement de balle dans un repère $R(O, \vec{i}, \vec{j})$ d'axe (Oy) vertical orienté vers le haut (la figure ①). Ce lancer a été filmé à l'aide d'une caméra numérique, puis les images ont été traitées à l'aide d'un système d'acquisition convenable qui a permis d'obtenir les courbes représentant les variations des énergies potentielle, cinétique et mécaniques de balle en fonction du temps (la figure ②)



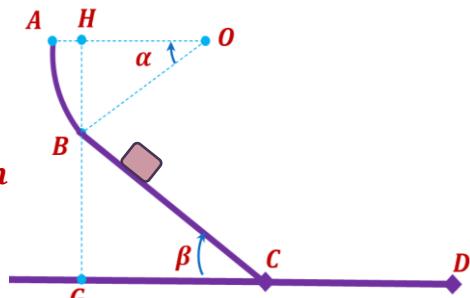
- ① Identifier les courbes **a**, **b** et **c**.
- ② Déterminer la valeur de l'énergie mécanique de balle .
- ③ Calculer la vitesse initiale de balle ,
- ④ Déterminer l'altitude de l'état de référence de l'énergie potentielle de la balle.
- ⑤ Calculer l'altitude maximale y_{max} atteinte par la balle au cours de son mouvement.
- ⑥ Déterminer les instants t_1 et t_2 où $E_c = 2E_{pp}$

Donnée : L'intensité de pesanteur : $g = 10\text{N.Kg}^{-1}$

Exercice 6

Un corps solide (**S**) de masse $m = 500\text{g}$ considéré comme ponctuel se déplace le long d'une glissière **ABCD** située dans un plan vertical. La glissière **ABCD** comprend trois parties :

- Une partie circulaire **AB** de rayon $R = 40\text{cm}$ tel que $\alpha = 30^\circ$, on néglige les frottements sur cette partie.
 - Une partie **BC** rectiligne de longueur **L** inclinée d'un angle $\beta = 60^\circ$ par rapport à l'horizontal .
 - Une partie **CD** rectiligne et horizontale avec $CD = 1,1\text{m}$
- ① Calculer l'énergie potentielle de pesanteur de (**S**) à la position **A**. On prend $E_{pp}(B) = 0\text{J}$
 - ② Déterminer la vitesse initiale de (**S**) sachant qu'il atteint le point **B** avec une vitesse $V_B = 3,5\text{m.s}^{-1}$
 - ③ Déterminer la longueur de partie **BC** sachant que le (**S**) atteint la position **C** avec une vitesse $V_C = 2,8\text{m.s}^{-1}$ et que les frottements sont assimilés à une force constante \vec{f} d'intensité $f = 5\text{N}$.
 - ④ Le solide (**S**) s'arrête en **C** . Calculer l'intensité de la force de frottement sur la partie **CD** .
- Donnée : L'intensité de pesanteur : $g = 10\text{N.Kg}^{-1}$



Travail et énergie interne



Situation-problème

Lorsqu'une météorite pénètre dans l'atmosphère, il subit à la résistance de l'air. Cette résistance provoque l'augmentation de la température de la météorite ce qui entraîne l'inflammation de sa surface, de sorte que nous voyons un faisceau de lumière dans le ciel.

- 💡 Comment expliquer l'échauffement provoqué par les frottements de l'air ?
- 💡 Quelle relation relie la notion de travail à la notion de la chaleur ?

Objectifs

- 💡 Connaître quelques effets du travail d'une force.
- 💡 Connaître et exploiter l'expression de la force pressante.
- 💡 Connaître l'expression de l'énergie interne.
- 💡 Connaître l'expression de l'énergie interne.
- 💡 Connaître et exploiter le premier principe de la thermodynamique.

① Activité

❖ Situation 1

L'allumage par friction est une technique traditionnelle utiliser pour produire le feu . Cette technique utilise l'échauffement produit par le frottement d'une tige sur une plaque de bois pour produire une flamme.



1

❖ Situation 2

Lorsqu'on frotte un morceau de glace sur une surface rugueuse, il fond et se transforme en eau liquide.



2

❖ Situation 3

On emprisonne une quantité d'air dans une seringue, puis on pousse le piston de la seringue et on le lâche.



3

- ① Compléter le tableau ci-dessous en déterminant l'effet du travail fourni au système étudié dans chacune des trois situations .

Situation	①	②	③
Système étudié	La tige en bois	Le morceau de glace	L' air emprisonné
Effet du travail	Echauffement	Changement d'état	Déformation et augmentation de pression

② Conclusion

Nous avons montré dans la leçon précédente que le travail d'une force peut modifier l'énergie cinétique ou/et l'énergie potentielle d'un système mécanique. Mais il y a d'autres effets du travail qui sont :

- Élévation de la température du système.
- Changement de l'état physique du système.
- Déformation du système.
- Élévation de pression du système (cas des gaz)

③ Le travail de la force pressante

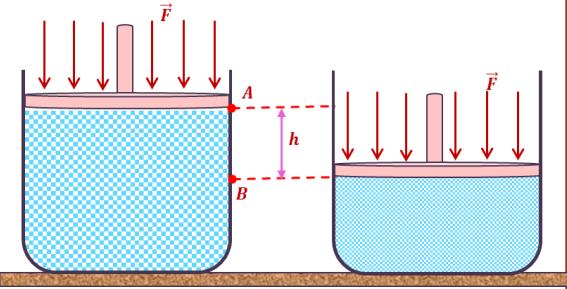
La force pressante est une force de poussée exercée lors du contact entre un solide ou un fluide (gaz ou liquide) et un autre corps .

Lorsqu'on exerce une force pressante sur le piston d'une seringue, cette force réalise un travail

$$W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} * \overline{AB}$$

$$\Leftrightarrow W_{AB}(\vec{F}) = F \cdot h \text{ avec } h = L_i - L_f \text{ et } F = P \cdot S$$

$$\Leftrightarrow W_{AB}(\vec{F}) = P \cdot S \cdot (L_i - L_f) \text{ avec : } S \cdot L = V$$



$$\Leftrightarrow W_{AB}(\vec{F}) = P \cdot (S \cdot L_i - S \cdot L_f)$$

$$\Leftrightarrow W_{AB}(\vec{F}) = P \cdot (V_i - V_f)$$

$$\Leftrightarrow W_{AB}(\vec{F}) = -P \cdot \Delta V$$

II L'énergie interne d'un système

L'énergie interne notée U d'un système isolé (S) est la somme de son énergie cinétique microscopique E_{ci} et son énergie potentielle microscopique E_{pi} : $U = E_{ci} + E_{pi}$ avec :

- E_{pi} : est l'énergie potentielle associée à toutes les forces d'interactions internes entre les particules constitutants le système (S) (interactions intermoléculaires et intramoléculaires)
- E_{ci} : est la somme des énergies cinétiques de toutes les particules constituant le système. Cette énergie cinétique est due à l'agitation thermique de ces particules.

❖ Remarques

- L'énergie totale E_T d'un système (S) est égale à la somme de son énergie mécanique E_m et son énergie interne U : $E_T = E_m + U$
- On ne peut pas calculer les énergies microscopiques E_{ci} et E_{pi} car la connaissance des vitesses et des positions des particules est impossible du fait de leur nombre énorme.

III Le premier principe de la thermodynamique

① Échange de l'énergie avec le milieu extérieur

Un système (S) peut changer de l'énergie avec le milieu extérieur selon deux manières différentes :

- Échange une quantité de chaleur Q : le système reçoit ($Q > 0$) ou cède ($Q < 0$) une quantité de chaleur au milieu extérieur.
- Échange d'un travail : le système reçoit ($W > 0$) ou fournit ($W < 0$) au milieu extérieur.

② Le premier principe de la thermodynamique

Au cours d'une transformation chimique la variation de l'énergie interne d'un système est égale à la somme de la quantité de chaleur et le travail échangés avec le milieu extérieur :
 $\Delta U = W + Q$

③ Cas d'une transformation cyclique

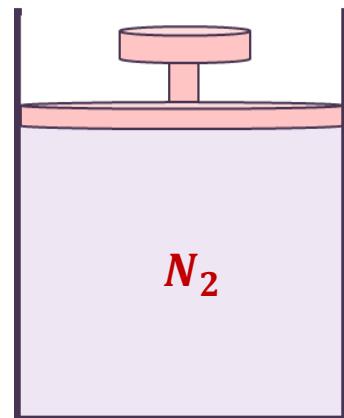
Une transformation cyclique est dans laquelle le système revient à son état initial après avoir subi une série de transformations.

Lors d'une transformation cyclique la variation de l'énergie interne est nulle : $\Delta U = 0$
donc $Q = -W$

❖ Application

On introduit dans un cylindre opaque une quantité de diazote N_2 gazeux à une température $\theta = 20^\circ C$ puis on ferme le cylindre par un piston de masse $m = 0,4Kg$ et de section $S = 2 \times 10^{-2}m^2$ (voir la figure ci-contre)

Le cylindre se trouve dans une région où règne une pression atmosphérique : $P_{atm} = 10^5 Pa$



- ① Calculer le poids du piston.
- ② Calculer la pression intérieure du gaz dans le cylindre .
- ③ On pose un corps (S) de masse $m' = 2,5Kg$ sur le piston et on constate que l'équilibre est atteint lorsque le piston se déplace d'une distance $d = 2,46mm$.
 - a – Calculer le travail de force pressante exercée sur le gaz dans le cylindre.
 - b – Calculer la variation de l'énergie interne du gaz . On considère que la température du gaz reste inchangée lors de cette transformation.

Donnée : l'intensité de pesanteur $g = 10N.Kg^{-1}$

- ① Calculons le poids du piston:

On a : $P = m \cdot g$

A.N : $P = 0,4 \times 10 = 4N$

- ② La pression à l'intérieur du cylindre est : $P_{int} = P_{atm} + P_1$ avec : $P_1 = \frac{P}{S} = \frac{m \cdot g}{S} = 200Pa$

Donc : $P_{int} = 10^5 + 200 = 1,002 \times 10^5 Pa$

- ③ a – Calculons le travail de force pressante exercée sur le gaz dans le cylindre lors de cette transformation.

On a : $W(\vec{F}) = -P_2 \cdot \Delta V$ avec $P_2 = \frac{m' \cdot g}{S}$ et $\Delta V = -S \cdot d$

Donc : $W(\vec{F}) = m' \cdot g \cdot d$

A.N: $W(\vec{F}) = 2,5 \times 10 \times 2,46 \times 10^{-3} = 6,15 \times 10^{-2} J$

b – Calculons la variation de l'énergie interne du gaz.

D'après le premier principe de la thermodynamique, on a : $\Delta U = W(\vec{F}) + Q$

Puisque la température du mélange reste inchangée donc le gaz ne change pas de quantité de chaleur avec l'extérieur: $Q = 0$

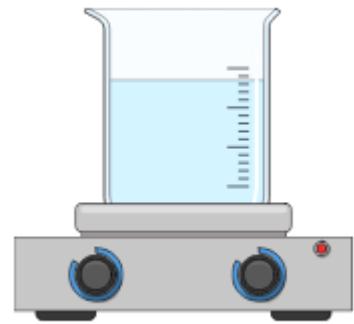
D'où : $\Delta U = W(\vec{F}) = 6,15 \times 10^{-2} J$

Exercice 1

On introduit une quantité d'eau dans un récipient posé sur un plaque chauffante produisant une puissance moyenne $P_m = 1,2\text{KW}$.

On fait fonctionner la plaque pendant une durée $\Delta t = 2\text{min}$

- ① Calculer la quantité de chaleur produite par la plaque pendant la durée Δt .
- ② Quelle est l'influence de l'échauffement de l'eau à l'échelle microscopique?
- ③ L'eau reçoit 63% de la quantité de chaleur produite par la plaque. Calculer la variation de l'énergie interne de l'eau lors de cet échauffement.

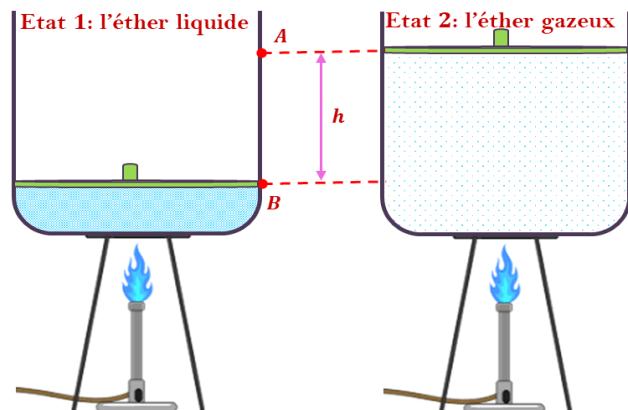


Exercice 2

Un récipient fermé par un piston de masse négligeable et de section $S = 200\text{cm}^2$ peut coulisser à l'intérieur duquel sans frottements.

On introduit dans le récipient une masse $m = 7\text{g}$ de l'éther à la température $\theta = 35^\circ\text{C}$ et à la pression atmosphérique

On chauffe l'éther et il s'évapore complètement à la même température $\theta = 35^\circ\text{C}$ et le piston s'élève lentement d'une hauteur $h = 12,11\text{cm}$.



- ① Calculer le volume de l'éther liquide dans le récipient.
- ② Calculer l'intensité de la force pressante exercée la pression atmosphérique sur le piston.
- ③ Calculer le travail de la force pressante exercée par l'éther sur le piston lors de l'échauffement
- ④ Lors du chauffage l'éther reçoit une quantité de chaleur $Q = 2,64\text{KJ}$. Calculer la variation de l'énergie interne de l'éther.

Donnée : La pression atmosphérique $P_{atm} = 10^5\text{Pa}$

La masse volumique de l'éther liquide à $\theta = 35^\circ\text{C}$ est : $\rho = 0,71\text{g.cm}^{-3}$

Énergie thermique -Transfert thermique



Situation-problème

L'augmentation de la température de la Terre provoque la fonte des glaces aux pôles

- 💡 Quels sont les modes de transfert de la chaleur ?
- 💡 Comment calculer la quantité de chaleur fournie ou reçue par un système lors d'un transfert thermique?

Objectifs

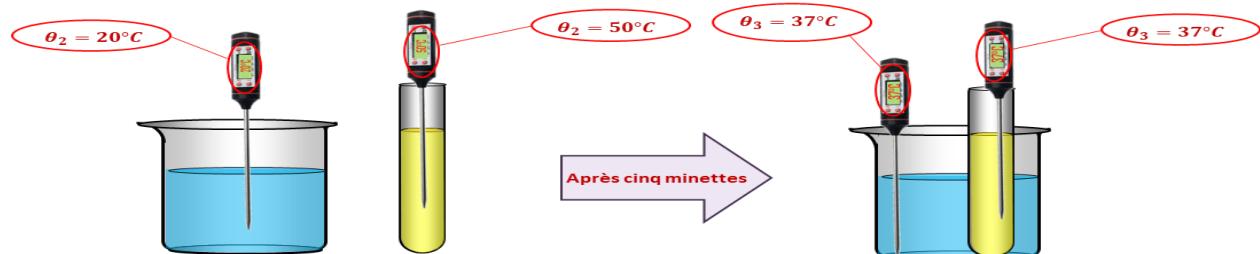
- 💡 Définir le transfert thermique.
- 💡 Connaître les modes de transfert thermique.
- 💡 Connaître l'expression de la quantité de chaleur et son unité.
- 💡 Définir la chaleur massique d'un métal.
- 💡 Définir l'équilibre thermique et connaître son équation.
- 💡 Définir la chaleur latente et savoir la calculer .

① Activité

On plonge un tube à essai contenant une quantité d'huile de table à une température

$\theta_1 = 50^\circ\text{C}$ dans un bécher contenant une quantité de l'eau à une température $\theta_2 = 20^\circ\text{C}$.

Après cinq minettes on mesure la température de l'eau et celle de l'huile et on trouve qu'elles ont la même valeur : $\theta_3 = 37^\circ\text{C}$



① Comment varie la température de l'huile et celle de l'eau ?

② Au cours de cette expérience, un transfert thermique s'est produit entre l'eau et l'huile.

Déterminer son sens.

① Lors de cette expérience on constate que :

- La température de l'eau a augmenté de $\theta_2 = 20^\circ\text{C}$ à $\theta_3 = 37^\circ\text{C}$
- La température de l'huile a diminué de $\theta_1 = 50^\circ\text{C}$ à $\theta_3 = 37^\circ\text{C}$

② Lors de cette expérience, on constate que l'huile cède de la chaleur tandis

l'eau reçoit de la chaleur, donc il se produit un transfert thermique de l'huile vers l'eau.

② Conclusion

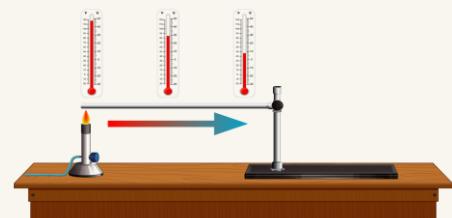
Lorsqu'on met en contact un corps chaud avec un autre froid, la température du corps chaud diminue et celle du corps froid s'élève. On dit qu'il se produit un transfert d'énergie entre les deux corps, il s'agit ici d'un transfert d'énergie thermique notée Q qui s'exprime en joule.

③ Modes de transfert thermique

❖ Transfer thermique par conduction

Le transfert thermique par conduction est un mode de transfert sans déplacement macroscopique de matière. Il est créé par une différence de température entre deux régions de même corps ou entre deux en corps en contact. Ce transfert s'effectue de proche en proche des régions chaudes vers les régions froides, grâce à l'agitation thermique.

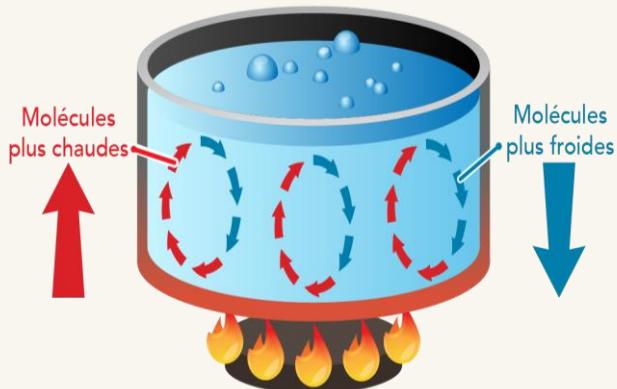
Exemple : lorsqu'on chauffe l'extrémité gauche d'une barre métallique, il se produit un transfert thermique par conduction de l'extrémité gauche vers l'extrémité droite de la barre.



❖ Transfer thermique par convection

La convection (thermique) désigne le transfert d'énergie thermique au sein d'un fluide en mouvement ou entre un fluide en mouvement et une paroi solide.

Exemple : Lorsqu'on chauffe de l'eau, cela crée un écoulement d'eau à l'intérieur du récipient, de sorte que les molécules chaudes montent et les molécules froides descendent .



❖ Transfer thermique par rayonnement

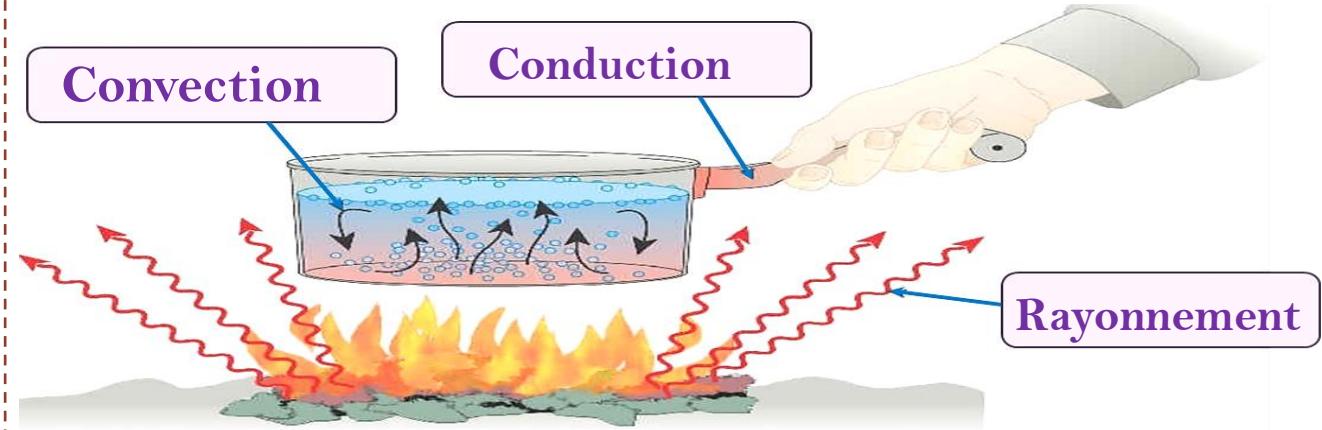
Le transfert thermique par rayonnement est un mode de transfert, dans lequel l'énergie thermique est transportée par des ondes électromagnétiques qui ne nécessitent pas de milieu matériel pour se propager.

Exemple : Le Soleil transmet à la Terre une grande quantité d'énergie thermique sous forme des rayonnements électromagnétiques



❖ Application

① Nommer les modes de transfert thermique mis en évidence dans la figure suivante:



II Énergie thermique

① Définition

L'énergie thermique est la quantité de chaleur Q reçue ou perdue par un corps lorsque sa température varie de θ_i à θ_f en gardant le même état physique tel que : $Q = m \cdot C \cdot (\theta_f - \theta_i)$

- Q : énergie thermique en J
- m : la masse du corps en Kg

- $\theta_i - \theta_f$: la variation de la température en ($^{\circ}\text{C}$) ou en ($^{\circ}\text{K}$).
- C : la capacité thermique du corps en $\text{J} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ou $\text{J} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{K}^{-1}$

② La capacité thermique –la capacité thermique massique

- La capacité thermique massique « la chaleur massique » notée C d'un corps est la quantité de chaleur reçue ou cédée par un kilogramme de ce corps lorsque sa température varie d'un degré 1°C ou 1°K , son unité est : $\text{J} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ou $\text{J} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{K}^{-1}$
- La capacité thermique $\mu = m \cdot C$ d'un corps est la quantité de chaleur reçue ou cédée par ce corps lorsque sa température varie d'un degré 1°C ou 1°K , son unité est : $\text{J} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ou $\text{J} \cdot ^{\circ}\text{K}^{-1}$.

❖ Remarque

La capacité thermique μ d'un système (S) formé de plusieurs corps est égale à la somme des capacités thermiques de ces corps : $\mu = \sum \mu_i = \sum m_i \cdot C_i$

❖ La chaleur massique de quelques substances

Substance	Chaleur massique en $\text{J} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{K}^{-1}$	Substance	Chaleur massique en $\text{J} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{K}^{-1}$
Eau liquide	$4,187 \times 10^3$	Huile végétale	$2,3 \times 10^3$
Verre solide	$8,3 \times 10^2$	Aluminium	9×10^2
Fer	$4,50 \times 10^2$	Glace	$2,1 \times 10^3$

❖ Application

On chauffe un volume $V = 50\text{mL}$ de l'eau température $\theta_1 = 20^{\circ}\text{C}$ pendant 4min constate que sa température devient: $\theta_2 = 38^{\circ}\text{C}$.

① Calculer la capacité thermique de l'eau chauffée.

② Calculer la quantité de chaleur reçue par l'eau lors du chauffage.

- Données
- La masse volumique de l'eau : $\rho = 1\text{Kg} \cdot \text{L}^{-1}$
 - La capacité thermique massique de l'eau : $C = 4,180\text{KJ} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{K}^{-1}$

① Calculons la capacité thermique de l'eau chauffée.

On a : $\mu = m \cdot C$ avec : $m = \rho \cdot V$

Donc : $\mu = \rho \cdot V \cdot C$

$$\text{A.N : } \mu = 1 \times 50 \times 10^{-3} \times 4,180 \times 10^3$$

$$\text{On trouve : } \mu = 209\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$$

② Calculer la quantité de chaleur reçue par l'eau lors du chauffage.

On a : $Q = \mu \cdot (\theta_2 - \theta_1)$

$$\text{A.N: } Q = 209 \times (38 - 20)$$

$$\text{On trouve : } Q = 3,76 \times 10^3\text{J}$$

③ L'équilibre thermique

❖ Activité

On place dans une enceinte isolante (fuites thermiques négligeables) deux masses d'eau

$m_1 = 100\text{g}$ et $m_2 = 120\text{g}$, de température successivement $\theta_1 = 20^\circ\text{C}$ et $\theta_2 = 60^\circ\text{C}$.

Après un certain temps la température se stabilise à $\theta_f = 41,82^\circ\text{C}$

① Calculer la quantité de chaleur Q_1 reçue par la masse $m_1 = 100\text{g}$.

② Calculer la quantité de chaleur Q_2 cédée par la masse $m_2 = 120\text{g}$.

③ Comparer les quantités de chaleur Q_1 et Q_2 .

Donnée : La capacité thermique massique de l'eau : $C = 4,18\text{KJ.Kg}^{-1.\circ\text{K}^{-1}}$

① Calculons la quantité de chaleur reçue par la masse m_1 .

On a : $Q_1 = m_1 \cdot C \cdot (\theta_f - \theta_1)$

$$\text{A.N: } Q_1 = 100 \times 10^{-3} \times 4,18 \times 10^3 \times (41,82 - 20) = 9,12 \times 10^3\text{J}$$

② Calculons la quantité de chaleur reçue par la masse m_2 .

On a : $Q_2 = m_2 \cdot C_2 \cdot (\theta_f - \theta_2)$

$$\text{A.N: } Q_2 = 120 \times 10^{-3} \times 4,18 \times 10^3 \times (41,82 - 60) = 9,12 \times 10^3\text{J}$$

③ On constate que : $Q_2 \approx -Q_1$. On déduit qu'à, l'équilibre thermique : $Q_1 + Q_2 = 0$

❖ Conclusion

Lorsqu'on met en contact deux corps ayant des températures différentes, le transfert thermique s'effectue spontanément du corps dont chaud vers le corps froid et le transfert cesse lorsque les deux corps sont à la même température : on dit que l'équilibre thermique est atteint.

L'équilibre thermique est traduit par la relation : $Q_1 + Q_2 = 0$

III Mesure calorimétrique

① Le calorimètre

Le calorimètre est une enceinte adiabatique(fuites thermiques négligeables) destinée à mesurer les échanges d'énergie thermique. Cet échange peut se produire entre plusieurs corps, mettre en jeu des changements d'état ou des réactions chimiques.



② Application: détermination de la capacité calorifique massique d'un calorimètre

Un système (S_1) est constitué d'un calorimètre de capacité thermique μ_C contenant une masse $m_1 = 150\text{g}$ de l'eau froide. La mesure de température de ce système donne la valeur suivante : $\theta_1 = 18^\circ\text{C}$.

On verse rapidement une masse $m_2 = 200\text{g}$ d'eau chaude (système S_2) de température $\theta_2 = 65^\circ\text{C}$ dans le calorimètre. Après un certain temps la température se stabilise à la valeur $\theta_f = 43,7^\circ\text{C}$

On donne : la capacité thermique massique de l'eau $c_e = 4180\text{J.Kg}^{-1.\circ\text{K}^{-1}}$

- ① Déterminer le type d'échangeur énergétique qui se produit dans le mélange.
 - ② Exprimer la quantité de chaleur Q_1 reçue par le système (S_1) en fonction de m_1 , c_e , μ_C , θ_1 et θ_f .
 - ③ Exprimer la quantité de chaleur Q_2 cédée par le système (S_2) en fonction de m_2 , c_e , θ_2 et θ_f
 - ④ En se basant sur l'équation de l'équilibre thermique, trouver l'expression de la capacité thermique μ_C du calorimètre en fonction de m_1 , m_2 , c_e , θ_1 , θ_2 et θ_f . Calculer sa valeur.
- ① Il se produit un transfert thermique de l'eau chaude vers l'eau froide.
- ② Le système (S_1) reçoit une quantité de chaleur $Q_1 = m_1 \cdot c_e \cdot (\theta_f - \theta_1) + \mu_C \cdot (\theta_f - \theta_1)$
- ③ Le système (S_2) cède une quantité de chaleur $Q_2 = m_2 \cdot c_e \cdot (\theta_f - \theta_2)$
- ④ À l'équilibre thermique on a : $Q_1 + Q_2 = 0 \Leftrightarrow$
- Donc : $m_1 \cdot c_e \cdot (\theta_f - \theta_1) + \mu_C \cdot (\theta_f - \theta_1) + m_2 \cdot c_e \cdot (\theta_f - \theta_2) = 0$
- $$\Leftrightarrow \mu_C \cdot (\theta_f - \theta_1) = -m_1 \cdot c_e \cdot (\theta_f - \theta_1) - m_2 \cdot c_e \cdot (\theta_f - \theta_2)$$
- $$\Leftrightarrow \mu_C = \frac{-m_1 \cdot c_e \cdot (\theta_f - \theta_1) - m_2 \cdot c_e \cdot (\theta_f - \theta_2)}{(\theta_f - \theta_1)}$$
- $$\Leftrightarrow \mu_C = \frac{m_2 \cdot c_e \cdot (\theta_2 - \theta_f)}{(\theta_f - \theta_1)} - m_1 \cdot c_e$$
- A.N: $\mu_C = \frac{200 \times 10^{-3} \times 4,18 \times 10^3 \times (65 - 43,7)}{(43,7 - 18)} - 150 \times 10^{-3} \times 4,18 \times 10^3 = 65,87\text{J.K}^{-1}$

III Énergie thermique du changement d'état « la chaleur latente »

① Définition

L'énergie thermique de changement d'état (ou chaleur latente), notée L d'un corps pur (solide, liquide ou gaz) est l'énergie qu'il faut fournir à 1kg de ce corps à sa température de changement d'état, pour qu'il change d'état.

La chaleur latente est grandeur algébrique qui s'exprime en J.kg^{-1}

② La fusion et la solidification

- La fusion est une transformation physique de la matière dans laquelle le corps passe de l'état solide à l'état liquide.
- L'énergie thermique reçue par un corps pendant sa fusion est : $Q = m \cdot L_f$
- La solidification est une transformation physique de la matière dans laquelle le corps passe de l'état liquide à l'état solide.
- L'énergie thermique cédée par un corps pendant sa solidification est : $Q' = m \cdot L_s$
 - L_f : la chaleur latente de fusion en $J \cdot kg^{-1}$.
 - L_s : la chaleur latente de solidification $L_s = -L_f$
 - m : la masse du corps en Kg

③ La vaporisation et la condensation

- La vaporisation est une transformation physique de la matière dans laquelle le corps passe de l'état liquide à l'état gazeux.
- L'énergie thermique reçue par un corps pendant sa vaporisation est : $Q = m \cdot L_v$
- La condensation est une transformation physique de la matière dans laquelle le corps passe de l'état gazeux à l'état liquide.
 - L_v : la chaleur latente de vaporisation en $J \cdot kg^{-1}$.
 - L_c : la chaleur latente de condensation $L_c = -L_v$
 - m : la masse du corps en Kg

Série d'exercices

Exercice 2

Une plaque d'aluminium de masse $m = 12\text{g}$ et température $\theta_i = 19^\circ\text{C}$. On chauffe cette plaque à l'aide d'un bec bunsen pendant une minette de sorte que sa température devienne : $\theta_i = 19^\circ\text{C}$.

- ① Calculer la variation de l'énergie interne de la plaque lors de l'échauffement.

On donne la capacité thermique massique de l'aluminium: $C = 9 \times 10^2 \text{J.Kg}^{-1.\circ\text{K}^{-1}}$

Exercice 2

On introduit un morceau de fer chaud de température θ_1 dans un calorimètre contenant un volume $V = 80\text{mL}$ de l'eau à une température $\theta_2 = 22^\circ$. L'équilibre est atteint lorsque la température de l'eau prend la valeur : $\theta_{\text{éq}} = 43^\circ\text{C}$

- ① Déterminer le corps qui reçoit de la chaleur et celui qui cède la chaleur.
- ② Calculer la quantité de chaleur reçue par l'eau froide.
- ③ Calculer la quantité de chaleur reçue par le calorimètre.
- ④ Calculer la quantité de chaleur cédée par le morceau de fer.
- ⑤ Calculer la température initiale du morceau de fer.

Données :

- La masse volumique de l'eau : $\rho = 1\text{Kg.L}^{-1}$
- La capacité calorifique du calorimètre: $\mu = 190\text{J.L}^{-1}$
- La capacité thermique massique de l'eau $C_e = 4180\text{J.Kg}^{-1.\circ\text{K}^{-1}}$
- La capacité thermique massique de fer $C_{Fe} = 4,50 \times 10^2 \text{J.Kg}^{-1.\circ\text{K}^{-1}}$

Exercice 3

On chauffe un morceau de glace de masse $m = 70\text{g}$ et de température initiale $\theta_1 = -10^\circ\text{C}$ jusqu'à ce qu'elle devienne un liquide température $\theta_2 = 40^\circ\text{C}$.

Données :

- La chaleur latente de fusion de la glace : $L_V = 333\text{KJ.Kg}^{-1}$
- La capacité thermique de la glace: $c_g = 2,06\text{J.Kg}^{-1.\circ\text{K}^{-1}}$
- La capacité thermique de l'eau liquide $c_e = 4180\text{J.Kg}^{-1.\circ\text{K}^{-1}}$
- La température de fusion de la glace: $\theta_f = 0^\circ\text{C}$

- ① Calculer la quantité de chaleur du changement d'état du l'eau glacée.
- ② Calculer la quantité de chaleur reçue par la glace lors de l'échauffement.
- ③ La quantité de chaleur reçue par l'eau liquide lors de l'échauffement.
- ④ Déduire la quantité de chaleur reçue par l'eau lors de son passage de la glace de température $\theta_1 = -10^\circ\text{C}$ à l'eau liquide de température $\theta_2 = 40^\circ\text{C}$.

PARTIE II : Chimie en solution

1

L'importance de la mesure en chimie

2

Les grandeurs liées à la quantité de matière

3

Solutions électrolytiques et concentration

4

Suivi d'une transformation chimique

5

Mesure de la conductance

6

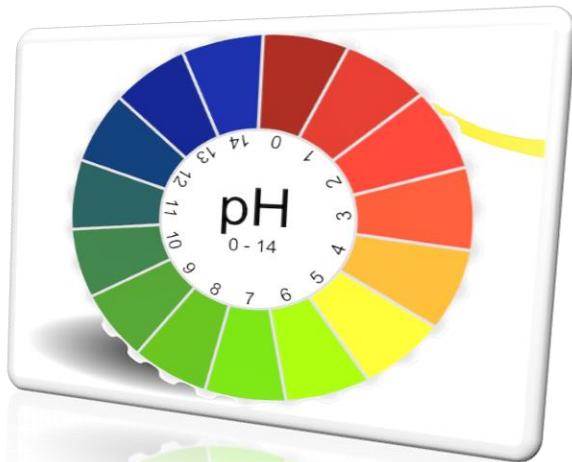
Réaction acidobasique

7

Réaction d'oxydoréduction

8

Dosages directs





Situation-problème

L'utilisation d'engrais et de pesticides est nécessaire pour augmenter la productivité agricole. Cependant, une utilisation irrationnelle de ces matériaux peut conduire à des résultats défavorables, et il faut donc effectuer un ensemble de mesures permettant d'identifier les défauts afin de les corriger.



Pour quoi la mesure en chimie ?



Quelles sont les techniques utilisées pour réaliser ces mesures ?

Objectifs



Connaître l'importance de la mesure en chimie .



Connaître quelques méthodes de mesure en chimie .



Définir la concentration massique .

I

Nécessité de la mesure en chimie

① Mesure pour informer

❖ Activité

Le document ci-contre représente une étiquette d'une bouteille d'eau minérale

Exploitation

- ① Quels sont les espèces chimiques contenues dans l'eau minérale étudiée ?
- ② Que représente les données chiffrées dans cette étiquette ?
- ③ Pourque le fabriquant réalise ces mesures ?

Minéralisation moyenne en mg/l		
Calcium	Ca^{2+}	176
Magnésium	Mg^{2+}	46
Sodium	Na^+	28
Potassium	K^+	5
Sulfates	SO_4^{2-}	372
Bicarbonates	HCO_3^-	312
Chlorures	Cl^-	37
Fluor	F^-	1,3

- ① Les espèces chimiques contenues dans l'eau minérale étudiée sont :

Anions		Cations	
Bicarbonates	HCO_3^-	Calcium	Ca^{2+}
Sulfates	SO_4^{2-}	Magnésium	Mg^{2+}
Chlorures	Cl^-	Sodium	Na^+
Fluor	F^-	Potassium	K^+

- ② Les données chiffrées dans cette étiquette sont les concentrations massiques des espèces chimiques contenues dans l'eau minérale étudiée .
- ③ Le fabricant effectue ces mesures pour informer le consommateur des espèces chimiques et de leurs concentrations dans ces eaux

❖ Conclusion

Pour informer les consommateurs, les fabriquant indique sur les étiquettes des produits les matières constituants ces produits ainsi que leurs concentrations .

❖ La concentration massique

La concentration massique notée C_m d'une espèce chimique dans une solution est égale au quotient de la masse m de l'espèce chimique dissoute dans la solution par le volume V de cette solution : $C_m = \frac{m}{V}$ tel que :

- C_m : la concentration massique en g.L^{-1}
- m : la masse dissoute en g
- V : le volume de la solution en L

② Mesurer pour surveiller et protéger :

❖ Activité

L'homme utilise plusieurs techniques et outils pour surveiller la qualité de l'air, notamment dans les villes industrielles, de sorte que les appareils mesurent en permanence les proportions de gaz polluants de l'air tels que : le dioxyde de carbone **CO₂**, le dioxyde de soufre **SO₂**, le dioxyde d'azote **NO₂**, le monoxyde de carbone **CO** ,...



Appareil mesure le taux de pollution de l'air

① Pourquoi les proportions de gaz polluants de l'air sont-ils mesurés en permanence ?

② Donner certains risques de pollution de l'air à la santé et à l'environnement .

① Les proportions de gaz polluants de l'air sont mesurés en permanence pour surveiller et protéger la santé et l'environnement .

② Quelques risques de la pollution de l'air à l'environnement et la santé :

- La respiration régulière de l'air pollué pendant longue durée peut entraîner de nombreux problèmes de santé tels que : Les maladies chroniques des poumons , les maladies cardiovasculaires, le cancer du poumon...
- La pollution de l'air entraîne plusieurs phénomènes naturels graves tels que: L'effet de serre , la diminution de l'épaisseur de la couche d'ozone ,les pluies acides .

❖ Conclusion

Afin de surveiller et de protéger la santé et l'environnement, l'homme effectue un ensemble de mesures et d'analyses qui ciblent divers éléments de l'environnement, comme l'air, l'eau et le sol, ainsi que divers consommables.

③ Mesurer pour agir

❖ Activité

Le document ci-dessous représente un extrait des analyses médicales d'un patient .

Analyses biologiques		
Substance	Résultats en (g/L)	Références en (g/L)
Glycémie à jeun	0,98	0,7 – 1,1
Acide urique	0,064	0,035 – 0,070
Cholestérol	2,34	1,2 – 2,0

① Interpréter les résultats de cette analyse .

② Quel traitement, le médecin donnera-t-il à ce patient?

① Le taux de glycémie et celui de l'acide urique sont situés entre les valeurs normales, tandis que le taux de cholestérol est supérieur à la valeur limite.

② Le médecin lui donnera un traitement pour abaisser le taux de cholestérol .

❖ Conclusion

Les mesures effectuées lors d'analyses permettent de donner des traitements pour corriger des valeurs situées en dehors des normes.

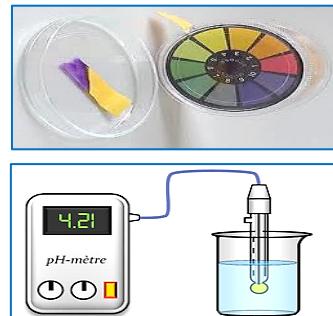
II Les techniques de mesure en chimie

① Mesures approximatives ou précises

Lorsque l'objectif de la mesure est d'obtenir des résultats approximatifs, des appareils simples peuvent être utilisés, tandis qu'on doit utiliser des appareils plus avancés et plus précis pour obtenir mesures très précises .

❖ Exemples

- Pour savoir si un milieu est acide ou basique, on peut utiliser un papier pH
- Pour mesurer avec précision le pH d'un milieu, on utilise le pH-mètre .



② Mesures continues et mesures temporaires

Une mesure en continu permet de suivre l'évolution temporelle d'une grandeur donnée, tandis qu'une mesure temporaire ne permet de suivre l'évolution cette grandeur que d'une manière discontinue .

❖ Exemples

- Afin de surveiller la qualité de l'air, les pourcentages des gaz présents dans celui-ci sont mesurés en continu
- Lors des analyses médicales, les biologistes effectuent des mesures temporaires d'échantillons de sang du patient .

③ Mesures destructives et mesures non destructives

Lorsque la matière étudiée est chère ou rare, on utilise des techniques consommant des petites quantités ou ne consommant rien ces techniques sont appelées non destructives.

Mais si la matière étudiée est disponible et bon marché, il est possible de s'appuyer sur des techniques qui consomment une partie de la matière, ces techniques sont appelées techniques destructives .

Série d'exercices

Exercice 1

① Répondre par vrai ou faux

- Le papier-pH donne une valeur précise de pH de la solution .
- La concentration massique s'exprime en g/L
- Les analyses médicales permettent au médecin d'identifier avec précision les problèmes de santé du patient .
- Le dosage est une technique de mesure destructive .

Exercice 2

Pour déterminer la densité de l'éthanol , on pèse à vide la masse d'une fiole jaugée de volume $V = 100\text{ml}$, on trouve une masse $m_1 = 105\text{g}$. On introduit de méthanol dans la fiole jusqu'au trait de la jauge, puis on pèse à nouveau la fiole et on trouve une masse $m_2 = 184,5\text{g}$

On pèse la fiole à vide

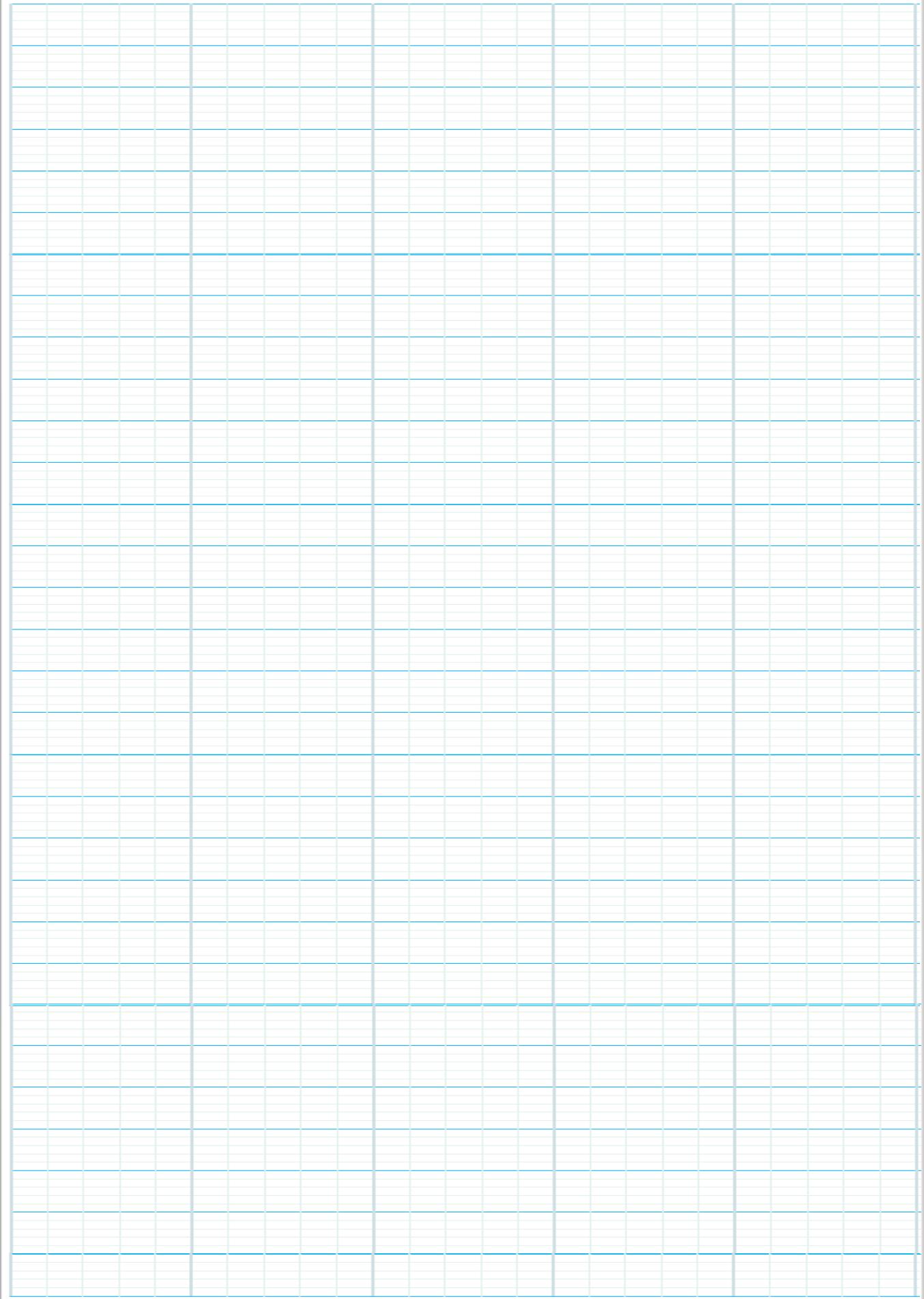


On pèse la fiole remplit du méthanol

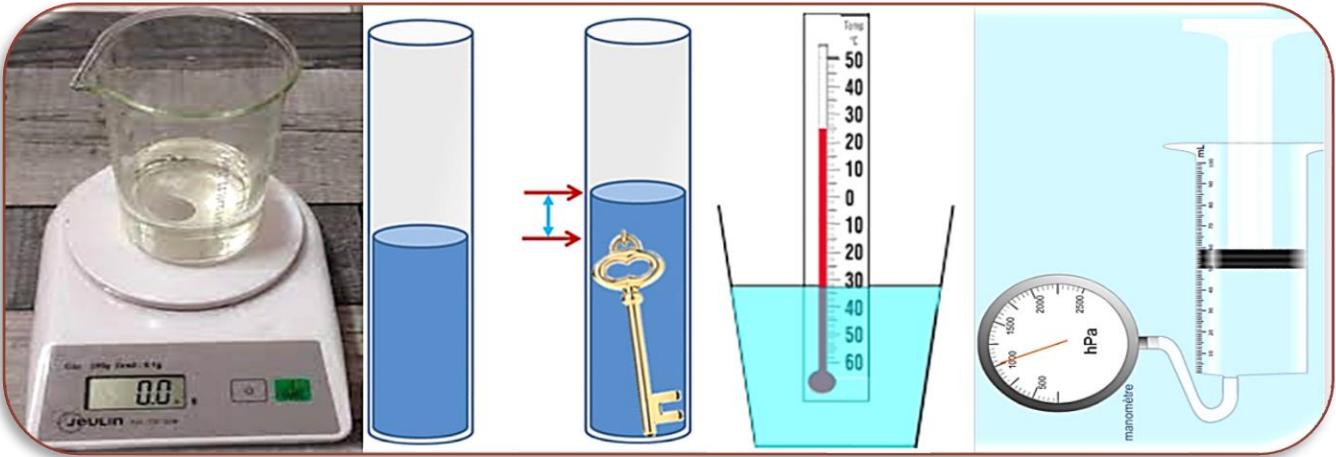


- ① Détermine la masse du méthanol contenant la fiole .
- ② Calculer la masse volumique du méthanol
- ③ Déduire la densité du méthanol par rapport à l'eau .

❖ La masse volumique de l'eau : $\rho_e = 1\text{g/mL}$



Les grandeurs liées à la quantité de matière



Situation-problème

En chimie, plusieurs grandeurs physiques comme la masse, le volume et la pression..., peuvent être déterminées expérimentalement en utilisant des appareils ou des outils convenables . Il existe également d'autres grandeurs physiques comme la quantité de matière qui est déterminée en s'appuyant uniquement sur des relations mathématiques qui la corrèle avec d'autres grandeurs physiques mesurables.

- Comment déterminer la quantité de matière d'un échantillon d'une espèce chimique solide, liquide, gaz ou en solution ?

Objectifs

- Définir la mole et la quantité de matière .
- Savoir déterminer la quantité de matière d'une espèce chimique solide , liquide , gaz ou en solution.
- Connaître les variables d'état d'un gaz .
- Connaitre la loi de Boyle-Mariotte .
- Connaître le modèle du gaz parfait et savoir utiliser la relation $PV = nRT$ pour déterminer la quantité de matière d'un gaz .

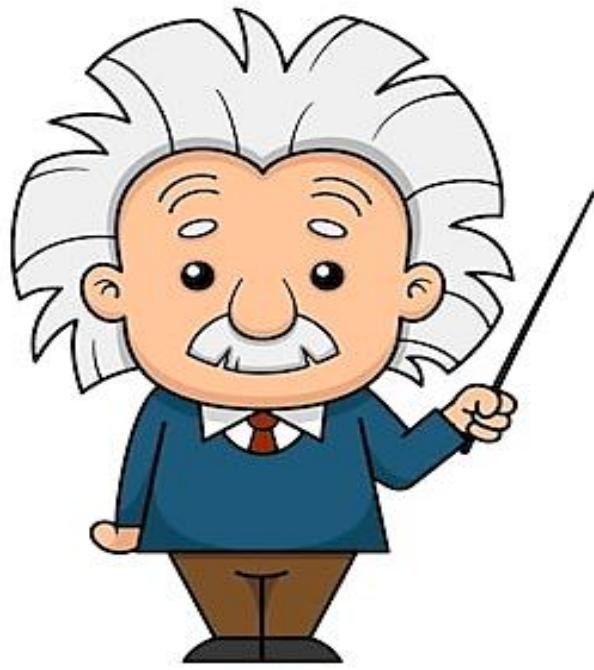
I

La mole et la quantité de matière

① La mole

Pour exprimer facilement le nombre de particule (atomes , molécules ,...)constituant la matière , les chimistes ont choisi une unité convenable à l'échelle microscopique . Cette unité est appelée la mole .

La mole est la quantité de matière d'un système contenant un nombre de particules identiques égale au nombre d'atome contenant 12g de carbone $^{12}_6\text{C}$. Ce nombre est appelé le nombre d'Avogadro sa valeur est : $N_A = 6,02 \times 10^{23}$ particules .



Une mole est un paquet contenant $6,02 \times 10^{23}$ particules

② La quantité de matière

La quantité de matière notée $n(X)$ d'un échantillon d'une espèce chimique X est le nombre de moles contenant cet échantillon, elle s'exprime en mole de symbole (mol) tel que :

$$n(X) = \frac{N}{N_A} \text{ avec :}$$

$n(X)$: La quantité de matière en mol

N : Le nombre de particules constituant l'échantillon

N_A : Le nombre d'Avogadro $N_A = 6,02 \times 10^{23}\text{mol}^{-1}$

❖ Application

- ① Calculer la quantité de matière d'un échantillon de sodium contenant $N = 4 \times 10^{24}$ atomes de sodium
- ② On dispose d'un flacon contenant une quantité $n' = 2,5 \text{ mol}$ de l'acide éthanoïque pur de formule chimique CH_3COOH
 - a – Calculer le nombre de molécules de l'acide éthanoïque dans le flacon .
 - b – Calculer le nombre d'atomes de carbone C dans le flacon .
 - c – Calculer le nombre d'atomes d'oxygène O dans le flacon .
 - d – Calculer le nombre d'atomes d'hydrogène H dans le flacon.

- ① Calculons la quantité de matière de sodium dans échantillon :

$$\text{On a : } n = \frac{N}{N_A}$$

$$\text{A.N : } n = \frac{4 \times 10^{24}}{6,02 \times 10^{23}}$$

On trouve : $n = 6,64 \text{ mol}$

- ② a – Calculons le nombre de molécules de l'acide éthanoïque dans le flacon .

$$\text{On a : } n' = \frac{N'}{N_A}$$

$$\text{Donc } N = n' \times N_A$$

$$\text{A.N : } N' = 2,5 \times 6,02 \times 10^{23}$$

On trouve : $N' = 1,5 \times 10^{24}$ molécules

- b – Calculons le nombre d'atomes de carbone C dans le flacon .

chaque molécule de l'acide éthanoïque contient deux atomes de carbone , donc, le nombre d'atomes de carbone dans le flacon est : $N_C = 2N'$

$$\text{A.N : } N_C = 2 \times 1,5 \times 10^{24}$$

On trouve : $N_C = 3 \times 10^{24}$ atomes

- c – Calculons le nombre d'atomes

d'oxygène O dans le flacon .

chaque molécule de l'acide éthanoïque contient deux atomes d'oxygène, donc le nombre d'atome d'oxygène dans le flacon est : $N_O = 2N$

$$\text{A.N : } N_O = 2 \times 1,5 \times 10^{24}$$

On trouve : $N_O = 3 \times 10^{24}$ atomes

- d – Calculons le nombre d'atomes

d'hydrogène H dans le flacon . chaque molécule de l'acide éthanoïque contient quatre atomes d'hydrogène, donc le nombre d'atome de carbone dans le flacon est : $N_H = 4N'$

$$\text{A.N : } N_H = 4 \times 1,5 \times 10^{24}$$

On trouve : $N_H = 6 \times 10^{24}$ atomes

II Détermination de la quantité de matière d'un solide ou liquide

① La masse molaire

- ❖ La masse molaire atomique d'un élément chimique X noté $M(X)$ est la masse d'une mole de cet élément sous sa forme atomique .
- ❖ La masse molaire moléculaire d'un corps pur est la masse d'une mole de molécules de ce corps . Elle est égale à la somme des masses molaires atomiques de tous les atomes constitutants la molécule .
- ❖ L'unité de la masse molaire est : $g \cdot mol^{-1}$

② La relation entre la quantité de matière et la masse

La quantité de matière d'un échantillon d'une espèce chimique de masse m est donnée par

la relation suivante : $n(X) = \frac{m}{M(X)}$ avec

- $n(X)$: la quantité de matière mol
- $M(X)$: la masse molaire en $g \cdot mol^{-1}$
- m : la masse en g

❖ Applications

On considère un échantillon de glycose ($C_6H_{12}O_6$) de masse $m = 36g$.

- ① Calculer la masse molaire du glycose .
- ② Calculer la quantité de matière du glycose dans l'échantillon .
- ③ Déduire le nombre de molécules de glycose dans cet échantillon .

- La masse molaire du carbone : $M(C) = 12g \cdot mol^{-1}$
- ❖ Données : ▪ La masse molaire d'oxygène : $M(O) = 16g \cdot mol^{-1}$
- La masse molaire d'hydrogène : $M(H) = 1g \cdot mol^{-1}$

- ① On calcule la masse molaire du glycose :

$$\text{On a : } M(C_6H_{12}O_6) = 6M(C) + 12M(H) + 6M(O)$$

$$\text{A.N : } M(C_6H_{12}O_6) = 6 \times 12 + 12 \times 1 + 6 \times 16$$

$$\text{On trouve : } M(C_6H_{12}O_6) = 180 \text{ g} \cdot mol^{-1}$$

- ② Calculons la quantité de matière du glycose dans l'échantillon .

$$\text{On a : } n(C_6H_{12}O_6) = \frac{m}{M(C_6H_{12}O_6)}$$

$$\text{A.N : } n(C_6H_{12}O_6) = \frac{36}{180}$$

$$\text{On trouve : } n(C_6H_{12}O_6) = 0,2 \text{ mol}$$

- ③ Déduisons le nombre de molécules de glycose dans l'échantillon .

$$\text{On a : } n(C_6H_{12}O_6) = \frac{N}{N_A}$$

$$\text{Donc } N = n(C_6H_{12}O_6) \times N_A$$

$$\text{A.N : } N = 0,2 \times 6,02 \times 10^{23}$$

$$\text{On trouve : } N = 1,2 \times 10^{24}$$

③ La relation entre la quantité de matière et le volume

❖ La masse volumique et la densité

❖ La masse volumique notée ρ d'une espèce chimique X est égale au quotient de la masse m d'un échantillon de l'espèce chimique X par le volume V occupé par cet échantillon :

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ avec :}$$

- ρ : La masse volumique de l'espèce chimique X en $Kg.m^{-3}$
- m : La masse de l'échantillon en Kg
- V : Le volume de l'échantillon en m^3

❖ La densité notée d d'une espèce chimique solide ou liquide est égale au quotient de la masse volumique de cette espèce chimique par la masse volumique de l'eau : $d = \frac{\rho}{\rho_e}$ avec

- d : La densité (sans unité)
- ρ : La masse volumique en $Kg.m^{-3}$ ρ
- ρ_e : La masse volumique de l'eau en $Kg.m^{-3}$

❖ La relation entre la quantité de matière et le volume

❖ La quantité de matière d'une espèce chimique X (solide ou liquide) de masse m, de volume V, de masse volumique ρ et de densité d est : $n(X) = \frac{m}{M(X)} = \frac{\rho \cdot V}{M(X)} = \frac{d \cdot \rho_e \cdot V}{M(X)}$

- ρ : La masse volumique en $g.L^{-1}$
- m : La masse en g
- V : Le volume en L
- $M(X)$: La masse volumique en $g.mol^{-1}$
- d : La densité (sans unité)

④ La relation entre la quantité de matière et la concentration molaire

❖ La concentration molaire notée **C** d'une espèce chimique **X** en solution insaturée est égale au quotient de la quantité de matière **n(X)** dissoute dans la solution par le volume

$$V \text{ de cette solution : } C = \frac{n(X)}{V} \text{ avec :}$$

- **C** : La concentration molaire en mol.L^{-1}
- **n(X)** : La quantité de matière dissoute en **mol**
- **V** : Le volume de la solution en **L**

❖ Application

On fait dissoudre une massa **m** de chlorure de potassium dans l'eau distillée et on obtient une solution (**S**) de chlorure de potassium ($K_{(aq)}^+ + Cl_{(aq)}^-$) de volume **V** = **50mL** et de densité **d** = **1,07**.

① Calculer la masse molaire du chlorure de potassium.

② Calculer la quantité de matière du chlorure de potassium dans le flacon .

③ Calculer la concentration de la solution dans le flacon .

④ Calculer la masse de chlorure de potassium dissoute dans la solution (**S**).

❖ Données : ▪ La masse molaire du chlore : $M(Cl) = 35,45 \text{ g.mol}^{-1}$
▪ La masse molaire de potassium : $M(K) = 39,1 \text{ g.mol}^{-1}$
▪ La masse volumique de l'eau : $\rho_e = 1 \text{ g.mL}^{-1}$

① On calcule la masse molaire de chlorure de potassium :

$$\text{On a : } M(KCl) = M(Cl) + M(K)$$

$$\text{A.N : } M(KCl) = 35,45 + 39,1$$

$$\text{On trouve : } M(KCl) = 74,55 \text{ g.mol}^{-1}$$

② Calculons la quantité de matière du chlorure de potassium dans l'échantillon .

$$\text{On a : } n(KCl) = \frac{d \cdot \rho_e \cdot V}{M(KCl)}$$

$$\text{A.N : } n(KCl) = \frac{1,07 \times 1 \times 50}{74,55}$$

$$\text{On trouve : } n(KCl) = 7,18 \times 10^{-1} \text{ mol}$$

③ Calculons la concentration de la solution (**S**)

$$\text{On a : } n(KCl) = C \cdot V$$

$$\text{Donc : } C = \frac{n(KCl)}{V}$$

$$\text{A.N : } C = \frac{7,18 \times 10^{-1}}{50 \times 10^{-3}}$$

$$\text{On trouve : } C = 14,35 \text{ mol.L}^{-1}$$

④ Calculons la masse de chlorure de potassium dissoute dans la solution (**S**).

$$\text{On a : } m = \rho \cdot V$$

$$\text{Donc : } m = d \cdot \rho_e \cdot V$$

$$\text{A.N : } m = 1,07 \times 1 \times 50$$

$$\text{On trouve : } m = 53,5 \text{ g}$$

III Détermination de la quantité de matière d'un gaz

① Les variables d'état d'un gaz

❖ Activité

Expérience 1

On gonfle un ballon mal gonflé à l'aide d'une pompe (voir la figure ①)

- ① Compléter le tableau ci-dessus, en identifiant le changement que subit chaque grandeur physique lors du gonflage du ballon .

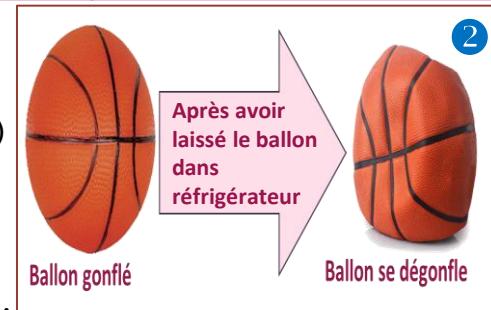


La pression P	Le volume V	La température T	La quantité de matière n
Augmente	Augmente	Reste constante	Augmente

Expérience 2

Après avoir gonflé le ballon complètement, on le met dans le réfrigérateur pendant 15min (voir la figure ②)

- ② Compléter le tableau ci-dessus, en identifiant le changement que subit chaque grandeur physique après avoir mis le ballon dans réfrigérateur .



La pression P	Le volume V	La température T	La quantité de matière n
Diminue	Diminue	Diminue	Reste constante

❖ Conclusion

L'état d'un gaz est caractérisé par quatre grandeurs physiques qui sont : **la pression P, le volume V, la température T et la quantité de matière n**. Ces grandeurs sont appelées **les variables d'état du gaz** et ils ne sont pas indépendantes .

② L'échelle absolue de la température absolue

On enferme une quantité d'air dans un ballon puis on chauffe progressivement le ballon et enregistre les valeurs de la pression et de la température .

L'ensemble des résultats ont permis de tracer la courbe ci-contre qui représente l'évolution de la pression en fonction de la température .

On prolonge la courbe $P = f(\theta)$ jusqu'à ce qu'elle

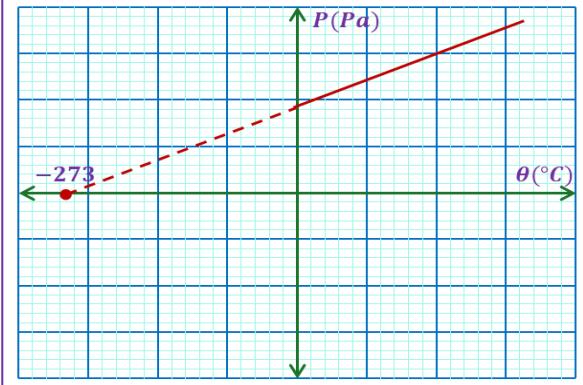
se coupe avec l'axe des abscisses (axe de température), on constate que la pression s'annule (théoriquement) lorsque la température prend la valeur $\theta_0 \approx -273^\circ\text{C}$. Expérimentalement, la pression ne s'annule jamais , et donc la température ne peut pas être inférieure à $\theta_0 = -273^\circ\text{C}$ pour cela cette valeur choisie comme origine de la température absolue elle s'appelle le zéro absolu , son unité est le Kelvin de symbole (K) tel que : $T(K) = \theta + 273$

③ La loi de Boyle-Mariotte

❖ Activité

On relie une seringue remplie d'air à un manomètre et en enregistre la valeur de la pression de l'air enfermé et celle de son volume .

On pousse progressivement le piston de la seringue et à chaque fois on enregistre les valeurs de la pression et du volume . Le tableau ci-dessus montre les résultats obtenus



Le volume en m^3	$3,36 \times 10^{-5}$	$1,12 \times 10^{-5}$	$6,72 \times 10^{-4}$
La pression en Pa	30×10^{-6}	90×10^{-6}	150×10^{-6}
Le produit $P \cdot V$	10,08	10,08	10,11

□ Exploitation

① Compléter le tableau ci-dessus en calculant le produit $P \cdot V$.

② Que peut-on déduire à propos de cette expérience ?

① Voir le tableau dans la page précédente .

② D'après le tableau on constate que le produit $P \cdot V$ est constant

❖ Conclusion : La loi de Boyle-Mariotte

À une température constante et pour une quantité de matière donnée, le produit P.V reste constant : $P \cdot V = Cte$

④ L'équation d'état d'un gaz parfait

❖ Le gaz parfait

Le gaz parfait est un gaz typique qui suit absolument la loi de Boyle-Mariotte et la loi d'Avogadro-Ampère .

À basse pression et haute température, les gaz réels se comportent comme des gaz parfaits .

❖ L'équation du gaz parfait

- Les variables d'états d'un gaz parfait sont liées entre eux par la relation suivante :

$$PV = nRT$$

- Cette relation est appelée l'équation d'état du gaz parfait avec :

- P : La pression du gaz en pascal (Pa)
- V : Le volume du gaz en (m^3)
- n : La quantité de matière du gaz (mol)
- T : La température du gaz en kelvin (K)
- R : Est une constante appelé la constante du gaz parfait tel que

$$R = 8,314 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} = 0,082 \text{ atm} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

❖ Application

Une bouteille de volume $V = 25L$ contenant une masse m de propane (gaz) de formule chimique C_3H_8 et de pression $P = 2,7\text{Bar}$ à une température $T = 6^\circ\text{C}$.

- ① Calculer la masse molaire du propane .
- ② Calculer la quantité de matière du propane dans la bouteille .
- ③ Déduire la masse du propane contenant la bouteille.

- Données : $M(C) = 12 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(H) = 2 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $R = 8,314 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

① On calcule la masse molaire du propane

On a : $M(C_3H_8) = 3M(C) + 8M(H)$

$$A.N : M(C_3H_8) = 3 \times 12 + 8 \times 1$$

$$\text{On trouve : } M(C_3H_8) = 44 \text{ g.mol}^{-1}$$

② Calculons la quantité de matière du propane contenant la bouteille

On a : $P.V = n(C_3H_8).R.T$

$$\text{Donc : } n(C_3H_8) = \frac{P.V}{R.T}$$

$$A.N : n(C_3H_8) = \frac{1,7 \times 10^5 \times 25 \times 10^{-3}}{8,314 \times (6+273)}$$

$$\text{On trouve : } n(KCl) = 1,83 \text{ mol}$$

③ Calculons la masse du propane de la bouteille

$$\text{On a : } n(C_3H_8) = \frac{m}{M(C_3H_8)}$$

$$\text{Donc : } m = n(C_3H_8) \cdot M(C_3H_8)$$

$$A.N : m = 1,83 \times 44$$

$$\text{On trouve : } m = 80,52 \text{ g}$$

⑤ La relation entre la quantité de matière et le volume molaire

❖ Le volume molaire

❖ Le volume molaire d'un gaz est le volume occupé par une mole de ce gaz dans des conditions de température et de pression données .

❖ La loi d'Avogadro-Ampère : Dans les mêmes conditions de pression et de température , tous les gaz occupent le même volume molaire .

- Dans les conditions normales de pression et de température ($P = 1 \text{ atm} ; T = 0^\circ\text{C}$) le volume molaire est : $V_m = 22,4 \text{ mol.L}^{-1}$.
- Dans les conditions ordinaires de pression et de température ($P = 1 \text{ atm} ; T = 20^\circ\text{C}$) le volume molaire est : $V_m = 24 \text{ mol.L}^{-1}$.

❖ La relation entre la quantité de matière et le volume molaire

❖ La quantité de matière d'un échantillon d'un gaz de volume V dans des conditions de pression et de température données est : $n = \frac{V}{V_m}$ tel que :

- n : La quantité de matière du gaz en mol
- V : Le volume occupé par le gaz en L
- V_m : Le volume molaire du gaz en mol.L^{-1}

⑥ La densité du gaz

❖ La densité du gaz par rapport à l'air est égale au rapport de la masse m d'un volume V de ce gaz par la masse m_{air} du même volume V d'air dans les mêmes conditions de pression et de température : $d = \frac{m}{m_{air}} = \frac{M}{29}$

❖ Quelques pictogrammes de sécurité

- Le contact avec certains produits chimiques peut provoquer des dangers à la santé et l'environnement (des brûlures de la peau ; des yeux)
- Le tableau suivant donne quelques pictogrammes de sécurité permettant de connaître les dangers des produits chimiques .

Le pictogramme	Le danger que représente la substance chimique
Comburant 	Produits comburants contenant une grande quantité d'oxygène et pouvant provoquer la combustion de substances inflammables ou combustibles
Inflammable 	Produits inflammables pouvant s'enflammer facilement au contact d'une flamme ou d'une étincelle, ou sous l'effet de la chaleur
Toxique 	Produits toxiques pouvant présenter un danger pour la santé ou entraîner la mort en cas d'inhalation, d'ingestion ou d'absorption cutanée
Corrosif 	Produits corrosifs ou caustiques pour la peau et les muqueuses en cas de contact . Ils peuvent provoquer des graves brûlures
Explosif 	Produits explosifs pouvant exploser en contact d'une flamme, d'un choc ou sous l'effet de la chaleur ou les frottements .
Irritant/Nocif 	Produits irritants pouvant causer des démangeaisons des rougeurs et ou des inflammations en cas de contact direct, prolongé ou répété .

Série d'exercices

Exercice 1

Un comprimé de vitamine C contient une masse $m = 500\text{mg}$ de l'acide ascorbique de formule chimique $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$.

- ① Calculer la masse molaire de l'acide ascorbique
 - ② Calculer la quantité de matière de l'acide ascorbique dans le comprimé .
 - ③ Déduire le nombre de molécules de l'acide ascorbique dans le comprimé .
 - ④ On dissout le comprimé de vitamine C dans l'eau distillée et on obtient une solution (S) de vitamine C de volume $V = 40\text{ml}$.
 - a – Calculer la concentration molaire de la solution (S).
 - b – Calculer la concentration massique de la solution (S) .
 - ⑤ On fait diluer la solution (S) trois fois et on obtient une nouvelle solution (S') de volume V' et de concentration C' .
 - a – Calculer la valeur de la concentration C' de la solution (S') , et celle de son volume V' .
 - b – Déduire le volume de l'eau distillée ajoutée lors de cette dilution .
 - La masse molaire du carbone : $M(C) = 12\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$
- ❖ Données : ▪ La masse molaire d'oxygène : $M(O) = 16\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$
▪ La masse molaire d'hydrogène : $M(H) = 1\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$

Exercice 2

Le professeur de physique a trouvé dans le laboratoire de lycée une bouteille fermé contenant un liquide incolore . La figure ci-contre représente de la bouteille trouvée

- ① En exploitant l'étiquette de la bouteille déterminer :
 - Le nom de liquide contenant la bouteille .
 - La masse molaire de ce liquide .
 - La densité de ce liquide .
 - Le volume de liquide dans la bouteille .
- ② Calculer la quantité de matière du liquide dans la bouteille .
- ③ Déduire le nombre de molécules du liquide dans la bouteille .
- ④ Calculer la masse du liquide dans le flacon .

❖ La masse volumique de l'eau : $\rho_e = 1\text{g}/\text{mL}$



Exercice 3

On dispose une bouteille cylindrique de volume $V = 0,7\text{m}^3$ contenant de diazote $N_{2(g)}$ sous une pression $P = 1,8 \times 10^5\text{Pa}$ et une température $T = 15^\circ\text{C}$

- ① Enoncer la loi de Boyle-Mariotte .
- ② Calculer la masse molaire de diazote .
- ③ Calculer la quantité de matière de diazote dans la bouteille .
- ④ Calculer la masse de diazote dans la bouteille .
- ⑤ Calculer le volume molaire dans ces conditions .

❖ La densité de diazote: $d = 0,97$; la constante du gaz parfait : $R = 8,31\text{Pa}\cdot\text{m}^3\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$

Série d'exercices

Exercice 4

On prépare une solution (S) de nitrate d'ammonium ($\text{NH}_4^+_{(aq)} + \text{NO}_3^-_{(aq)}$) de concentration $C = 3 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$, en dissolvant une masse m de cristaux de nitrate d'ammonium NH_4NO_3 dans un volume $V = 100\text{mL}$ de l'eau distillée .

- ① Calculer la masse molaire de nitrate d'ammonium .
 - ② Calculer la quantité de matière de nitrate d'ammonium dans la solution (S).
 - ③ Déduire la valeur de la masse m de nitrate d'ammonium dissoute dans la solution (S) .
 - ④ On ajoute à la solution (S) un volume $V' = 50\text{mL}$ d'une autre solution (S') de nitrate d'ammonium de concentration $C' = 1 \times 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$
 - a – Calculer la quantité de matière de nitrate d'ammonium dans le mélange obtenu .
 - b – Calculer la masse de nitrate d'ammonium dans le mélange obtenu .
- ❖ Données : Les masses molaires en g.mol^{-1} : $M(\text{N}) = 14$; $M(\text{O}) = 16$; $M(\text{H}) = 1$

Exercice 5

On dispose trois flacons ① , ② et ③ à la même température $T = 20^\circ\text{C}$ tel que :

- Le premier flacon de volume $V_1 = 4\text{L}$ contient du butane de formule chimique C_4H_{10} sous une pression $P_1 = 3\text{bar}$.
- Le deuxième flacon de volume $V_2 = 9\text{L}$ contient une masse $m_2 = 8\text{g}$ de l'hélium de formule chimique He et de densité $d_2 = 0,138$
- Le troisième flacon de volume V_3 contient deux moles d'air sous une pression atmosphérique $P_3 = 1\text{atm} = 1,01\text{bar}$.

On relie les trois flacons par deux tubes très fins contenant chacun un robinet .

Initialement les deux robinets sont fermés . On donne $R = 8,31\text{Pa.m}^3.\text{K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$

I-Étude du premier flacon .



- ① Calculer la masse molaire du butane et déduire sa densité .
- ② Calculer la quantité de matière du butane dans le premier flacon .
- ③ Déduire la valeur de la masse m_1 du butane contenant ce flacon .

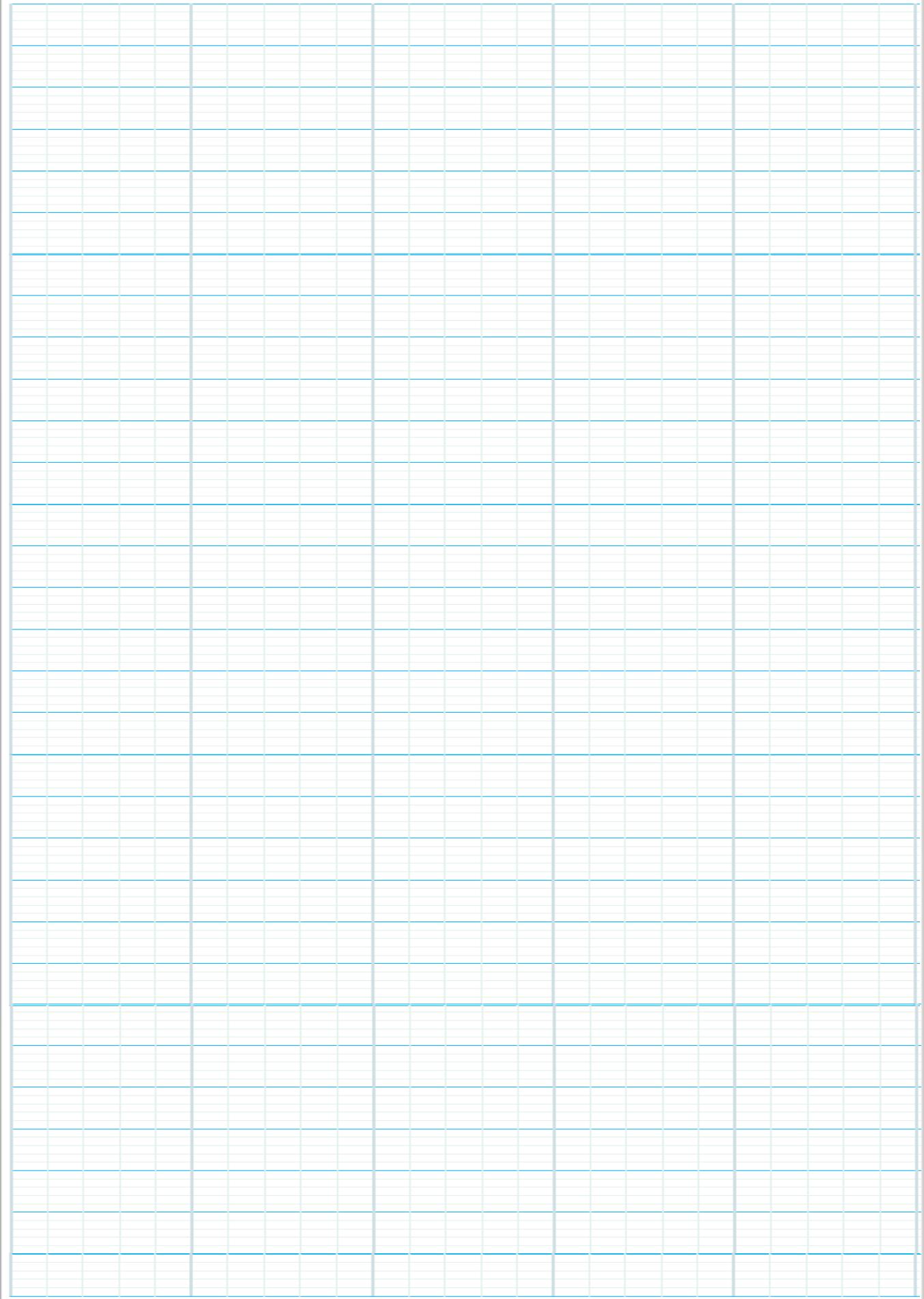
II-Étude du deuxième flacon .

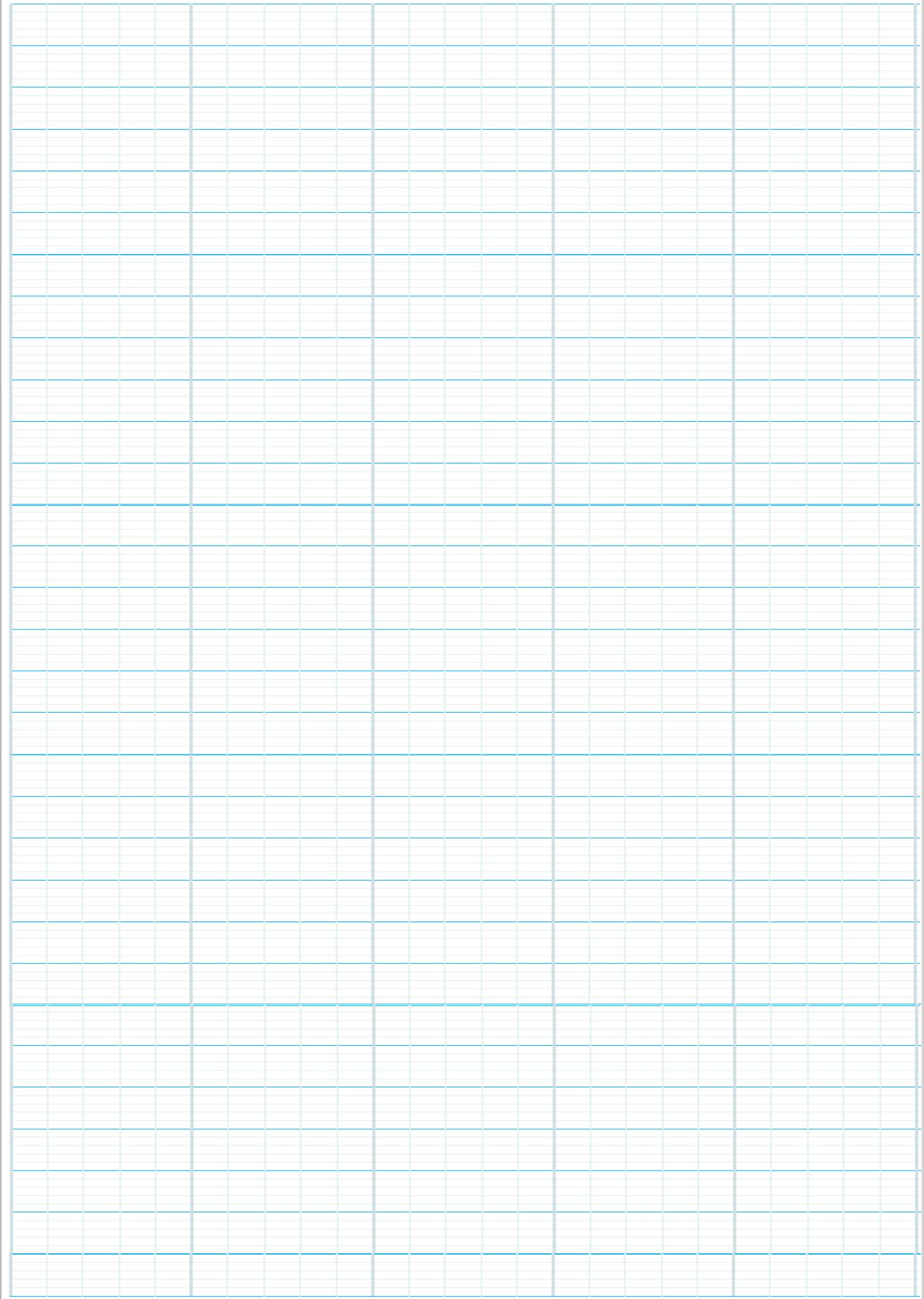
- ① Calculer la masse molaire de l'hélium .
- ② Calculer la quantité de matière l'hélium dans le deuxième flacon .
- ③ Déduire la valeur de la pression P_2 dans ce flacon .

III-Étude du troisième flacon .

- ① Quelle est la valeur du volume molaire dans ce flacon ?
- ② Calculer le volume de ce flacon .

IV- On ouvre les deux robinets. Déterminer les valeurs des variables d'état du gaz pour le système formé par les trois flacons .





Solutions électrolytiques et concentration



Situation-problème

Lorsqu'on fait dissoudre un corps solide ionique dans l'eau, on obtient une solution électrolytique.

- 💡 Qu'est-ce que corps solide ionique ?
- 💡 Qu'est-ce qu'une solution électrolytique ?

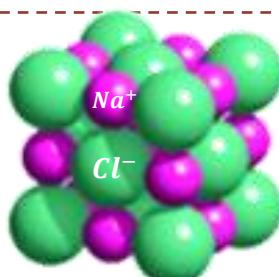
Objectifs

- 💡 Définir le corps solide ionique .
- 💡 Définir l'électronégativité d'un élément chimique et savoir l'exploiter pour connaître le caractère dipolaire de quelques molécules .
- 💡 Connaître les étapes de dissolution d'un électrolyte dans l'eau.
- 💡 Savoir écrire l'équation de dissolution d'un électrolyte dans l'eau .
- 💡 Savoir déterminer la concentration effective d'une espèce chimique dans une solution aqueuse .

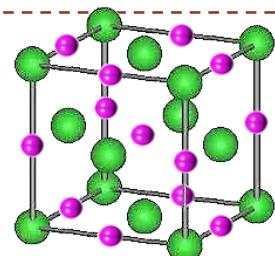
I Le corps solide ionique

① Activité

La figure ci-contre représente la structure cristalline du chlorure de sodium.



Le modèle compact



Le modèle éclaté

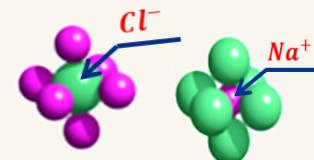
① Où se trouve les ions de sodium Na^+ et les ions de chlore Cl^- .

② Dans une structure cristalline de chlorure de sodium, le nombre d'ion de sodium est égale au nombre d'ion de clore . Que peut-on déduire de cette structure ?

- ① Les ions Na^+ sont situés dans les milieux des côtés et le centre du cube, tandis que les ions Cl^- sont situés dans les sommets et les centres des faces.
- ② Puisque le nombre d'ion de sodium (cation) est égale au nombre d'ion chlorure (anion), la structure cristalline du chlorure de sodium est électriquement neutre .

② Conclusion

- Un solide ionique (cristal) est formé d'ions positifs (cations) et d'ions négatifs (anions) régulièrement disposés dans l'espace .
- Un solide ionique est électriquement neutre, car il contient autant de charges positives apportées par les cations que des charges négatives apportées par les anions .
- La formule chimique d'un cristal formé par les ions X^{a+} et Y^{b-} ($a \neq b$) est : $X_b Y_a$.
- Dans chaque corps ionique le cation est entouré par des anions et l'anion est entouré par des cations.
- La cohésion du cristal est assurée par des interactions électriques (électrostatique) entre anions et cations.



II Le caractère dipolaire d'une molécule

① L'électronégativité

- L'électronégativité est une grandeur qui exprime l'aptitude d'un atome d'attirer vers lui le doublet d'électrons qui l'associe à un autre atome (la liaison covalente).
- Plus l'électronégativité d'un atome est élevée, plus son aptitude d'attirer les électrons vers lui est élevé .

- Dans le tableau périodique ; l'électronégativité augmente du gauche à droite d'une ligne (période), et de bas en haut d'une colonne (groupe).

Sens d'augmentation de l'électronégativité

Sens d'augmentation de l'électronégativité

The periodic table is color-coded to show electronegativity trends. The colors transition from light green (low electronegativity) to dark purple (high electronegativity). A large blue arrow points diagonally upwards and to the right, indicating the direction of increasing electronegativity.

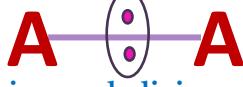
Group	Period 1	Period 2	Period 3	Period 4	Period 5	Period 6	Period 7												
1	H	Li	Na	K	Rb	Cs	Fr												
2	Be	Mg	Ca	Sr	Ba	Ra													
3	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr			
4	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
5	Hf	Ta	W	Re	Os	Ru	Pt	Ag	Cd	Ru	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
6	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Cn	Uut	Fl									
7	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr				

② Le caractère dipolaire d'une molécule

- Une molécule est dite polaire si le barycentre des charges positives ne coïncide pas avec celui des charges négatives .
- Une molécule est dite apolaire si le barycentre des charges positives coïncide pas avec celui barycentre des charges négatives .

❖ Cas d'une molécule composée de deux atomes identiques

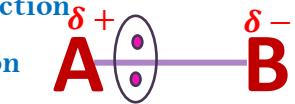
- Dans ce cas les deux atomes ont la même électronégativité c-à-d que le doublet d'électrons n'est attiré vers aucun des deux atomes. Par conséquence la liaison covalente qu'ils forment entre eux n'est pas polarisée .



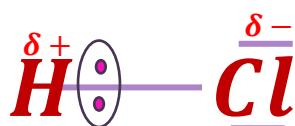
Exemple : la molécule de dioxygène O_2 est apolaire car la liaison entre les deux atomes d'oxygène n'est pas polarisée :

❖ Cas d'une molécule composée de deux atomes différents

- Dans ce cas ; le doublet d'électrons est plus proche de l'atome le plus électronégatif (l'atome B par exemple), ce qui entraîne l'apparition d'une petite fraction $\delta +$ de charge électrique négative ($\delta -$) sur cet atome et une petite fraction $\delta -$ de charge positive ($\delta +$) sur l'autre atome :



Exemple : la molécule de du chlorure d'hydrogène HCl est polaire car l'atome de chlore est plus électronégatif que celui d'hydrogène .

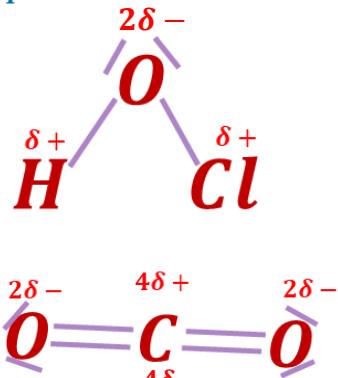


❖ Cas d'une molécule composée de trois atomes ou plus

- Dans ce cas ; le caractère dipolaire d'une molécule n'est pas seulement lié à l'existence des liaisons covalentes polarisées, mais aussi à la forme géométrique de la molécule dans l'espace .

Exemples :

- La molécule d'eau H_2O est polaire car les deux liaisons H-O sont polarisées et le barycentre des charges positives ne se coïncide pas avec celui des charges négatives
- La molécule du dioxyde de carbone CO_2 est apolaire parce que le barycentre des charges positives se coïncide avec celui des charges négatives



❖ Application

- Étudier la polarité des molécules suivantes : $NaCl$; H_2 ; N_2 ; CH_4
- La molécule $NaCl$ est polaire car la liaison $Na - Cl$ est polarisée (Na plus électronégatif que Cl)
- La molécule CH_4 est apolaire car le barycentre des charge positives se coïncide avec celui des charges négatives .
- La molécule H_2 est apolaire car elle contient deux atomes identiques .
- La molécule N_2 est apolaire car elle contient deux atomes identiques .

III La solution électrolytique

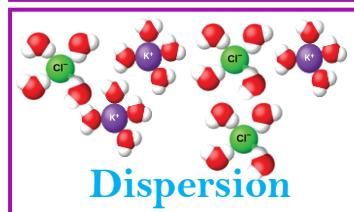
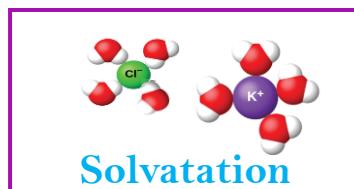
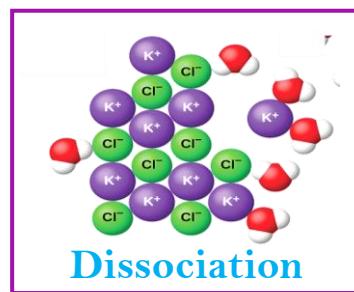
① Définitions

- La solution est un mélange homogène obtenue en dissolvant un soluté (solide , liquide ou gazeux) dans un solvant liquide .
- Si le solvant est l'eau la solution est dite solution aqueuse .
- Si la solution contient des ions on l'appelle solution électrolytique (ou ionique), elle conduit le courant électrique .
- Dans une solution le solvant présent en grande quantité par rapport au soluté .
- Lorsque le soluté introduit est complètement dissout, la solution est dite insaturée, sinon on dit qu'elle est saturée .

② La dissolution d'un électrolyte dans l'eau

La dissolution d'un électrolyte (cristal ou molécule polaire) dans l'eau se fait en trois étapes :

- Dissociation de l'électrolyte : lorsque l'électrolyte est introduit dans l'eau, ses pôles positifs sont attirés par les pôles négatifs des molécules d'eau tandis que ses pôles négatifs sont attirés par les pôles positifs des molécules d'eau .
- La solvation : après la libération de l'ion dans la solution, il s'entoure d'un certain nombre de molécules d'eau qui forment un bouclier protecteur qui empêche la retourne de l'ion à sa molécule (hydratation de l'ion) .
- La dispersion : les ions solvatés sont diffusés dans la solution en formant un mélange homogène .



③ La formule chimique d'une solution électrolytique

- Chaque solution électrolytique est représentée par les symboles des ions qu'il contient, en tenant compte sa neutralité électrique.

❖ Exemples

- Solution de chlorure de sodium ($\text{Na}_{(aq)}^+$ + $\text{Cl}_{(aq)}^-$) , on l'obtient par la dissolution du chlorure de sodium solide dans l'eau distillée.
- Solution de l'acide chlorhydrique ($\text{H}_{(aq)}^+$ + $\text{Cl}_{(aq)}^-$) , on l'obtient par la dissolution du chlorure d'hydrogène gazeux dans l'eau distillée.
- Solution de l'acide sulfurique ($2\text{H}_{(aq)}^+$ + $\text{SO}_{4(aq)}^{2-}$) , on l'obtient par la dissolution de l'acide sulfurique liquide dans l'eau distillée.

④ L'équation de la dissolution d'un électrolyte dans l'eau

- La dissolution d'un électrolyte dans l'eau est une transformation chimique exprimée par une équation chimique appelée équation de dissolution.

❖ Exemples

- L'équation de la dissolution l'acide chlorhydrique dans l'eau : $\text{HCl}_{(g)} \rightarrow \text{H}_{(aq)}^+ + \text{Cl}_{(aq)}^-$
- L'équation de la dissolution du chlorure de sodium dans l'eau: $\text{NaCl}_{(s)} \rightarrow \text{Na}_{(aq)}^+ + \text{Cl}_{(aq)}^-$
- L'équation de la dissolution de l'acide sulfurique dans l'eau : $\text{H}_2\text{SO}_{4(l)} \rightarrow 2\text{H}_{(aq)}^+ + \text{SO}_{4(aq)}^{2-}$

- La concentration molaire notée C d'un soluté A en solution insaturée est : $C = \frac{n(A)}{V}$ avec :

 - C : La concentration molaire en mol.L^{-1}
 - $n(A)$: La quantité de matière dissoute dans la solution en **mol**
 - V : Le volume de la solution en **L**

- La concentration molaire effective notée $[X]$ d'une espèce chimique X dans une solution

est : $[X] = \frac{n(X)}{V}$ avec :

 - $[X]$: La concentration molaire effective en mol.L^{-1}
 - $n(X)$: La quantité de matière de X présente dans la solution en **mol**
 - V : Le volume de la solution en **L**

On considère l'équation de la réaction de dissolution suivante : $X_a Y_b \rightarrow aX_{(aq)}^{b+} + bY_{(aq)}^{a-}$

La concentration de la solution et les concentrations effectives des ions sont liées par la

relation suivante: $C = \frac{[X^{b+}]}{a} = \frac{[Y^{a-}]}{b}$ avec

 - C : La concentration molaire de la solution en mol.L^{-1}
 - $[X^{b+}]$: La concentration de X^{b+} dans la solution en **mol**
 - $[Y^{a-}]$: La concentration de Y^{a-} dans la solution en **mol**
 - a et b : sont des coefficients stœchiométriques .

Série d'exercices

Exercice 1

① Répondre par vrai ou faux

- Le corps solide ionique est une molécule électriquement neutre .
- Le corps solide ionique est une molécule apolaire.
- Le corps solide ionique contient autant de cations que d'anions .
- Toute molécule contenant deux atomes identiques est apolaire .
- La molécule diatomique est polaire si et seulement s'elle est constituée de deux atomes de deux éléments chimiques différents .
- L'eau est un solvant polaire.
- Une molécule apolaire est plus soluble dans l'eau qu'une molécule polaire.
- La concentration effective d'une espèce chimique est toujours égale à la concentration de la solution.
- La dissolution d'un électrolyte dans l'eau donne une solution conduisant le courant électrique.
- Plus l'électronégativité d'un atome est élevée plus son aptitude d'attirer le doublet d'électrons vers lui est élevé .

Exercice 2

On fait dissoudre une masse $m = 12\text{g}$ du chlorure de potassium KCl dans un volume $V = 50\text{mL}$ de l'eau distillée . On donne : $M(\text{K}) = 39,1\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $M(\text{Cl}) = 35,5\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$

- ① Préciser les étapes de la dissolution chlorure de potassium KCl dans l'eau.
- ② Écrire l'équation de la dissolution du chlorure de potassium KCl dans l'eau.
- ③ Calculer la quantité de matière de KCl dissoute dans la solution.
- ④ Calculer la concentration de la solution obtenue.
- ⑤ Calculer les concentrations des effectives des ions dans la solution.

Exercice 3

- ① Définir le corps solide ionique .
- ② En exploitant le tableau périodique, étudier la polarité de chacune des molécules suivantes : KCl ; I_2 ; NH_3 ; CH_4 ; CO .
- ③ Écrire l'équation de dissolution de chacun des électrolytes suivants : KI ; NaOH ; FeCl_3 .

Série d'exercices

Exercice 4

On prépare une solution ionique (S) du chlorure de fer III ($Fe^{3+}_{(aq)} + 3Cl^-_{(aq)}$) de concentration $C = 2 \times 10^{-2} mol \cdot L^{-1}$ et de volume $V = 100mL$, en dissolvant une masse m du chlorure de fer III anhydre dans l'eau distillée . On donne : $M(Fe) = 55,8 g \cdot mol^{-1}$; $M(Cl) = 35,5 g \cdot mol^{-1}$

- ① Écrire l'équation de la dissolution du chlorure de fer III dans l'eau .
- ② Calculer la quantité de matière du chlorure de fer III dans la solution (S).
- ③ Calculer la masse du chlorure de fer III dissoute dans la solution (S).
- ④ Calculer les concentrations des effectives des ions dans la solution (S).
- ⑤ On ajoute à la solution (S) une quantité $n = 1 \times 10^{-3} mol$ de du chlorure de fer III . On suppose que le volume du mélange n'a pas changé.
 - a – Calculer la nouvelle concentration de la solution (S).
 - b – Déduire les nouvelles valeurs des concentrations des ions dans la solution (S) .

❖ **Données:** $M(Fe) = 55,8 g \cdot mol^{-1}$; $M(Cl) = 35,5 g \cdot mol^{-1}$

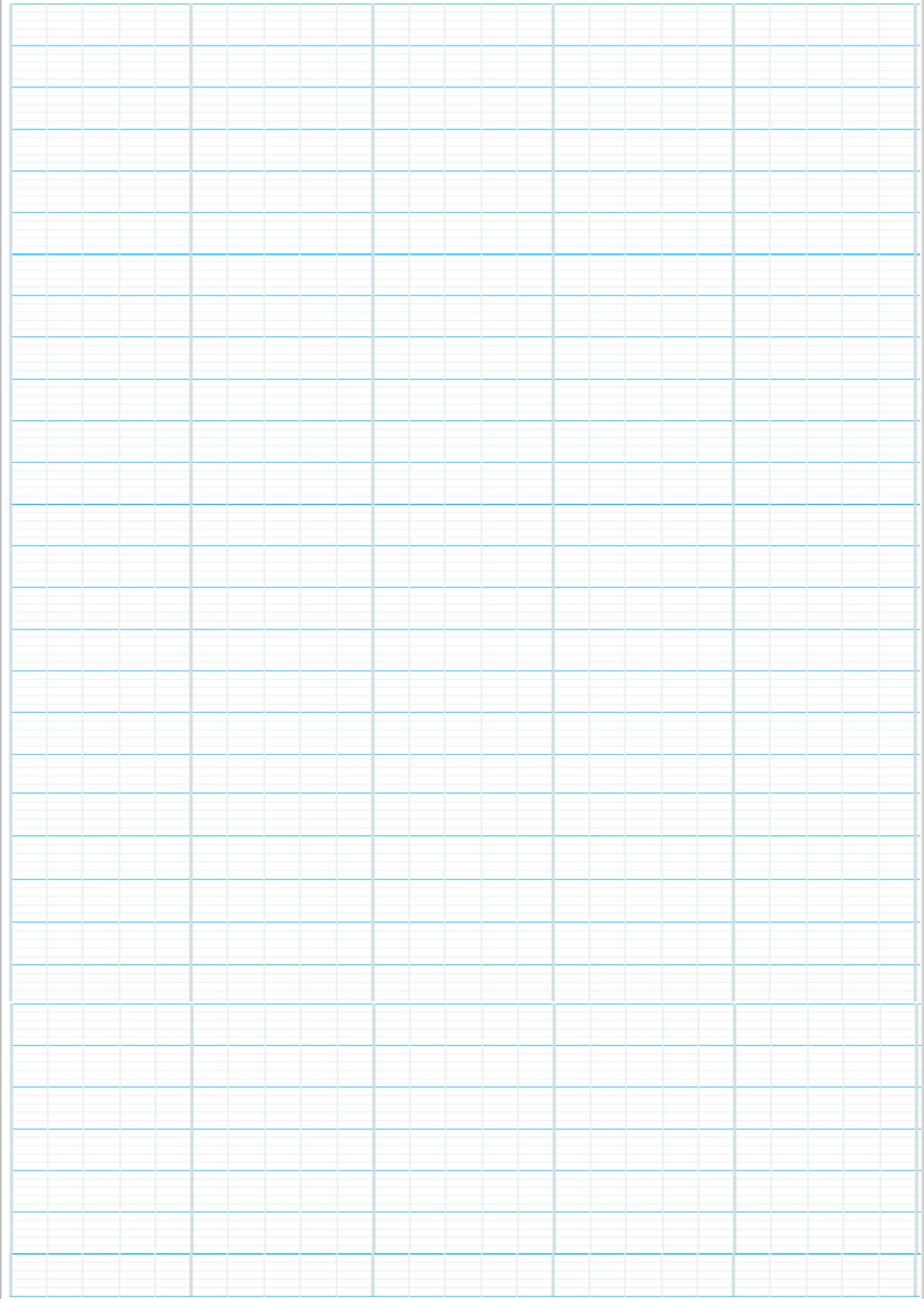
Exercice 5

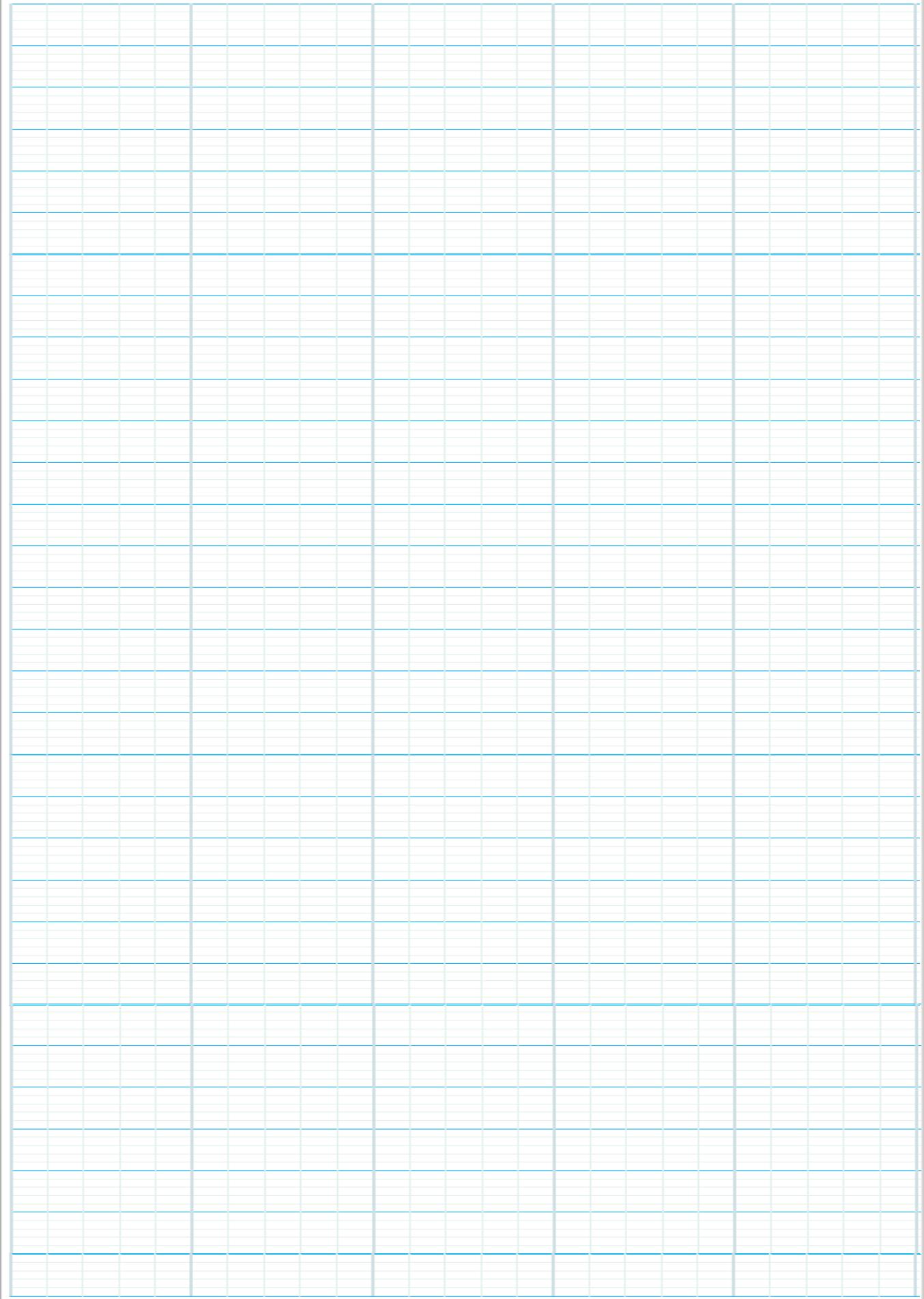
Pour préparer une solution ionique (S_0) de l'acide chlorhydrique ($H^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$) de concentration $C_0 = 1,7 \times 10^{-2} mol \cdot L^{-1}$ et de volume $V_0 = 80mL$ en dissolvant un volume V du chlorure d'hydrogène gazeux dans l'eau distillée .

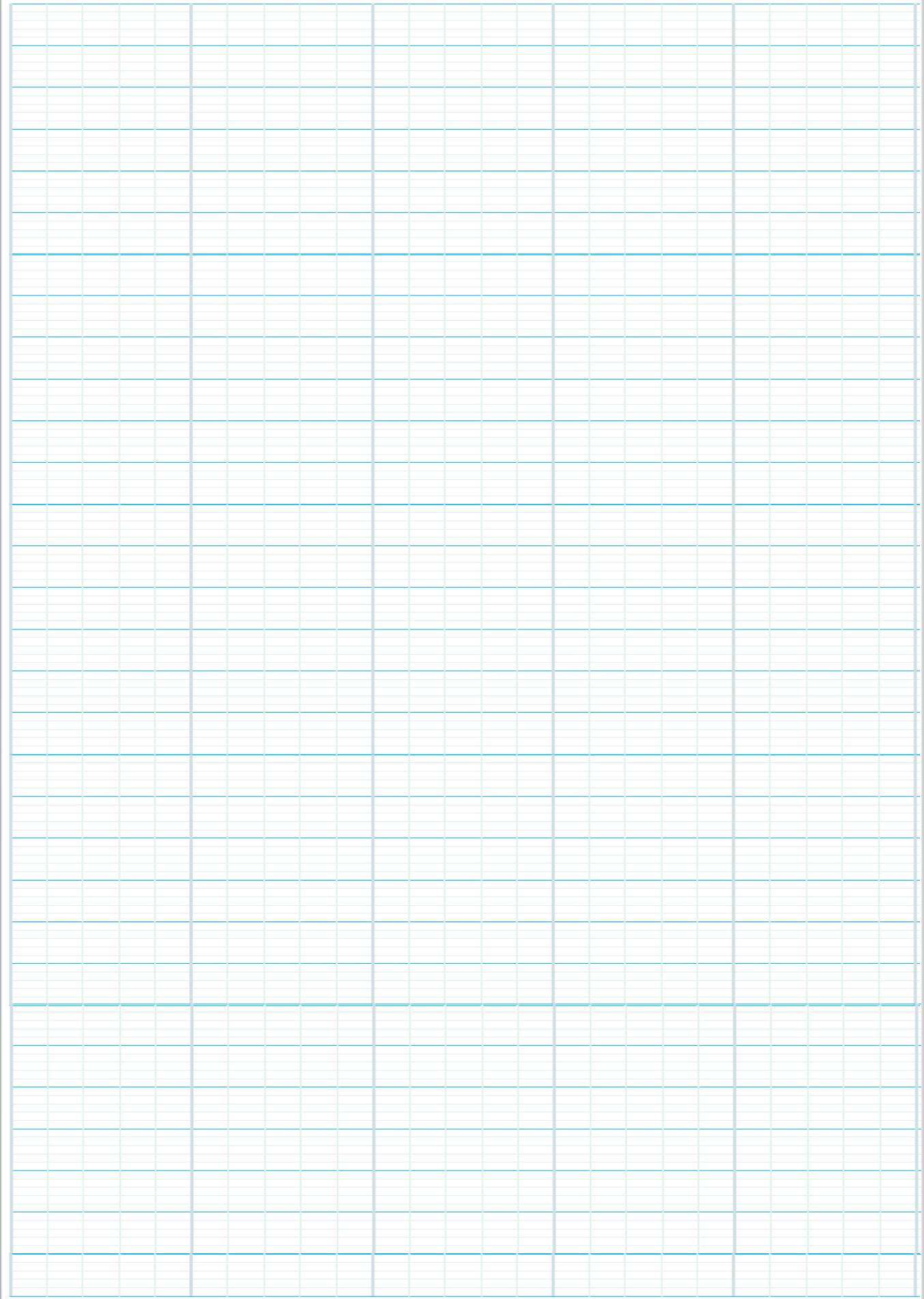
- ① Écrire l'équation de la dissolution du chlorure d'hydrogène dans l'eau .
- ② Calculer la quantité de matière du chlorure d'hydrogène dissoute dans la solution (S_0).
- ③ Calculer le volume V du chlorure d'hydrogène dissoute dans la solution (S_0).
- ④ Calculer les concentrations des effectives des ions dans la solution (S).
- ⑤ On mélange la solution (S_0) avec une autre solution (S) du chlorure de sodium ($Na^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$) de concentration $C = 1,3 \times 10^{-2} mol \cdot L^{-1}$ et de volume $V = 20mL$
 - a – Calculer les quantités de matière des espèces chimique ionique dans le mélange .
 - b – Déduire les nouvelles les concentrations des espèces chimiques ionique dans le mélange .

❖ **Données:**

- Le volume molaire du gaz dans les conditions de l'expérience : $V_m = 22,4 L \cdot mol^{-1}$
- La masse molaire du chlore : $M(Cl) = 35,5 g \cdot mol^{-1}$
- La masse molaire d'hydrogène : $M(H) = 1 g \cdot mol^{-1}$







Suivi d'une transformation chimique



Situation-problème

La fabrication des médicaments, des engrains agricoles et des produits alimentaires est principalement basée sur des transformations chimiques .

- 💡 Qu'est-ce qu'une transformation chimique? Et comment la modélisée?
- 💡 Comment suivre l'évolution des quantités de matières des espèces chimique lors d'une transformation chimique?

Objectifs

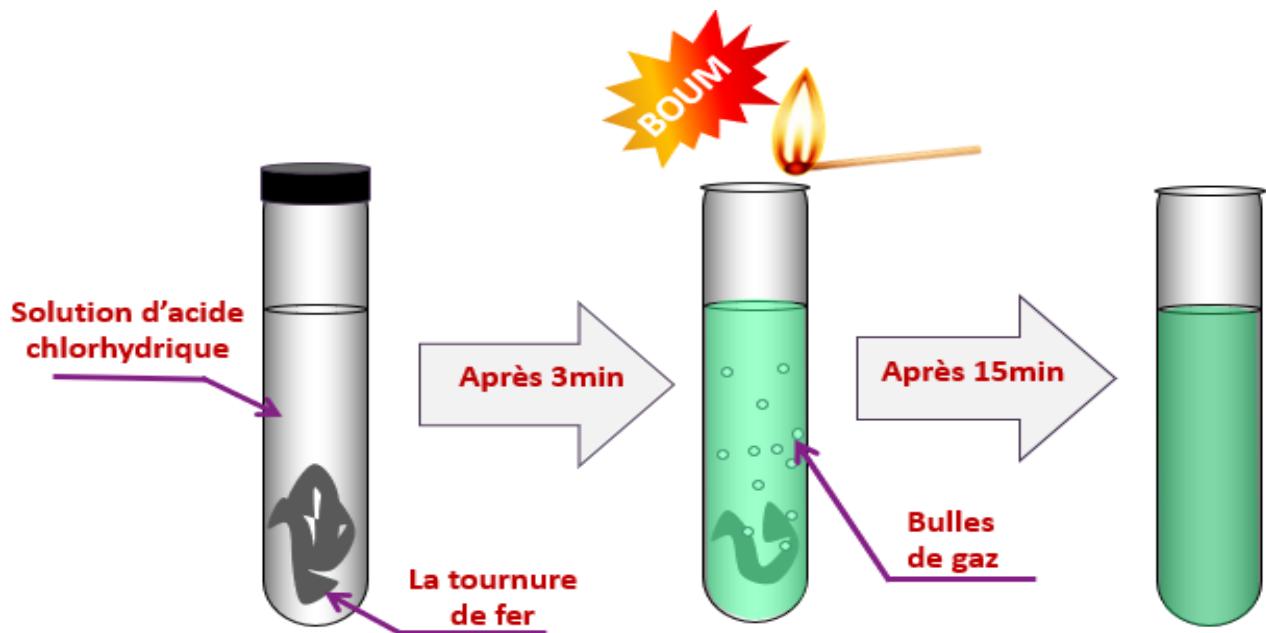
- 💡 Définir la transformation chimique.
- 💡 Savoir qu'une transformation chimique est modélisée par un modèle descriptif appelé réaction chimique .
- 💡 Connaître la notion du système chimique.
- 💡 Définir l'avancement de la réaction et savoir l'exploiter pour déterminer les quantités de matière des espèces chimiques intervenant dans une réaction chimique .
- 💡 Savoir établir le tableau d'avancement associé à une transformation chimique et l'exploiter pour déterminer les quantités de matière des espèces chimiques dans un état donné.

I L'évolution d'un système au cours d'une transformation chimique

① Activité

❖ Manipulation 1

- On introduit une tournure de fer dans un tube à essais contenant une solution de l'acide chlorhydrique ($H_{(aq)}^+$ + $Cl_{(aq)}^-$), puis on ferme le tube à l'aide d'un bouchant adapté.
- Après quelques minutes, on retire le bouchant et on rapproche une allumette enflammée à l'ouverture du tube.



① Quelles sont les espèces chimiques présentes dans le mélange du tube à l'état initial ?

② Qu'arrive-t-il au mélange avec le temps ?

③ Quel est le gaz qui donne une détonation en présence du feu dans cette expérience ?

① Les espèces chimiques présentent dans le mélange de tube à l'état initial sont :

L'acide chlorhydrique ($H_{(aq)}^+$ + $Cl_{(aq)}^-$), le fer $Fe_{(s)}$ et l'eau H_2O (solvant)

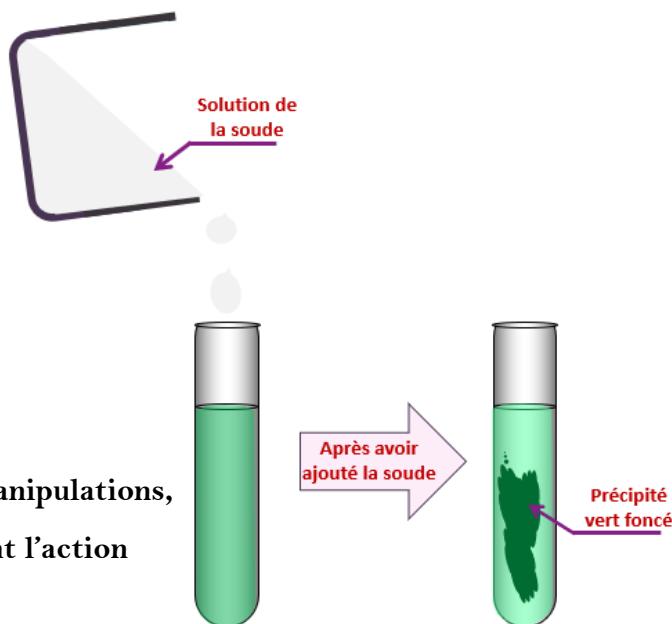
② On constate que :

- Le mélange se colore progressivement en vert.
- L'apparition d'un gaz qui donne une détonation en présence de feu.

③ Le gaz qui donne une détonation en présence du feu dans cette expérience est le dihydrogène.

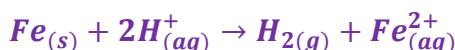
❖ Manipulation 2

- Lorsque la réaction est terminée on verse quelques gouttes de la soude ($\text{Na}^+_{(aq)} + \text{HO}^-_{(aq)}$) dans le tube à essais .



- ① Quel est le nom du précipité formé dans le tube après avoir ajouté la soude .
- ② Quel est le nom de l'espèce chimique détectée par ce test.
- ③ En se basant sur les résultats des deux manipulations, Écrire l'équation de la réaction modélisant l'action de l'acide chlorhydrique sur le fer .

- ① Le précipité formé dans le tube après avoir ajouté la soude est l'hydroxyde de fer II sa formule chimique est : $\text{Fe}(\text{HO})_2$
- ② Ce test montre que la solution du tube à essai contient les ions de fer $\text{Fe}_{(aq)}^{2+}$.
- ③ L'équation de la réaction modélisant l'action de l'acide chlorhydrique sur le fer est:



② Définitions

- La transformation chimique est une transformation dans laquelle des corps disparaissent appelés réactifs et des nouveaux corps apparaissent appelés produits .
- On appelle système chimique l'ensembles des espèces chimiques qui s'existent dans le milieu réactionnel.
- Pour décrire un système chimique à un état donné, on doit préciser :
 - La quantité de matière, l'état physique (solide ,liquide, gaz ou aqueux) de chaque espèce chimique de ce système .
 - Les conditions de pression P et de température T.
- L'état initial est l'état du système au moment où on mélange les réactifs.
- L'état de la transformation est l'état du système à un instant donné.
- L'état final est l'état du système lorsque la réaction est terminée.

③ Modélisation d'une transformation

- La réaction chimique est une modélisation simple de la transformation chimique dans laquelle on utilise une équation appelée équation de la réaction (bilan de réaction).
- L'équation de la réaction est obtenue en écrivant les formules des réactifs à gauche de la flèche et les formules des produits à droite de la flèche .
- Au cours d'une réaction chimique il y a conservation des éléments chimiques et de la charge électrique.
- L'équation d'une réaction chimique s'écrit sous la forme suivante : $aA + bB \rightarrow cC + dD$ tel que:
 - a , b et c sont les coefficients stœchiométriques .
 - A et B sont les formules chimiques des réactifs.
 - C et D sont les formules chimiques des produits.

Exemple : L'équation de la réaction chimique modélisant l'action de l'acide chlorhydrique sur l'aluminium : $6H_{(qa)}^+ + 2Al_{(s)} \rightarrow 2Al_{(qa)}^{3+} + 3H_{2(s)}$

II

L'évolution des quantités de matière des espèces chimiques au cours d'une transformation chimique

① L'avancement de la réaction

- Lors d'une transformation chimique, les variations des quantités de matière des réactifs et des produits sont proportionnelles à une grandeur appelée avancement de la réaction.
- L'avancement de la réaction notée x est une grandeur positive s'exprime en mol .

Exemple : On considère la réaction suivante : $6H_{(qa)}^+ + 2Al_{(s)} \rightarrow 2Al_{(qa)}^{3+} + 3H_{2(s)}$

Pendant cette réaction il se consomme $6x$ de H^+ et $2x$ de Al tandis qu'il se forme $2x$ de Al^{3+} et $3x$ de H_2

② L'avancement maximale et le réactif limitant

- L'avancement maximal x_{max} est la valeur que prend l'avancement de la réaction lorsque la réaction est terminée.
- Le réactif limitant est l'espèce chimique qui se consomme totalement à la fin de la réaction .

③ Le tableau d'avancement

Pour suivre l'évolution des quantités de matière des espèces chimiques lors d'une réaction chimique on construit un tableau descriptif appelé tableau d'avancement.

On trace le tableau d'avancement d'une transformation chimique de la manière suivante :

Équation		aA	+	bB	→	cC	+	dD
État	Avancement	Les quantités de matière en mole (mol)						
Initial	0	$n_i(A)$		$n_i(B)$		0		0
Intermédiaire	x	$n_i(A) - ax$		$n_i(B) - bx$		cx		dx
Final	x_{max}	$n_i(A) - ax_{max}$		$n_i(B) - bx_{max}$		cx_{max}		dx_{max}

❖ Application

On considère le tableau d'avancement associé à la réaction de fer Fe et les ions de argent Ag^+

Équation		$\text{Fe}_{(s)} + 2\text{Ag}_{(aq)}^+$	→	$\text{Fe}_{(aq)}^{2+}$	+	$2\text{Ag}_{(s)}$
État	Avancement	Les quantités de matière en mole (mol)				
Initial	0	1,5	2	0		0
Intermédiaire	x	$1,5 - x$	$2 - 2x$	x		$2x$
Final	x_{max}	$1,5 - x_{max}$	$2 - 2x_{max}$	x_{max}		$2x_{max}$

① Compléter le tableau d'avancement ci-dessus.

② Déterminer l'avancement maximal et le réactif limitant.

③ Déterminer le bilan de matière à l'état final

① Voir le tableau d'avancement

② Déterminons l'avancement maximal et le réactif limitant.

- Si Fe est le réactif limitant, on aura : $1,5 - x_{max1} = 0$

$$\text{Donc : } x_{max1} = 1,5 \text{ mol}$$

- Si Ag^+ est le réactif limitant, on aura : $2 - 2x_{max2} = 0$

$$\text{Donc : } x_{max2} = \frac{2}{2} = 1 \text{ mol}$$

- Puisque $x_{max2} < x_{max1}$, donc le réactif limitant est les ions d'argent Ag^+ et

$$x_{max} = x_{max2} = 1 \text{ mol}$$

③ Déterminons le bilan de matière à l'état final

Équation		$\text{Fe}_{(s)} + 2\text{Ag}_{(aq)}^+$	→	$\text{Fe}_{(aq)}^{2+}$	+	$2\text{Ag}_{(s)}$
État	Avancement	Les quantités de matière en mole (mol)				
Final	x_{max}	0,5	0	1		2

④ Le mélange stœchiométrique

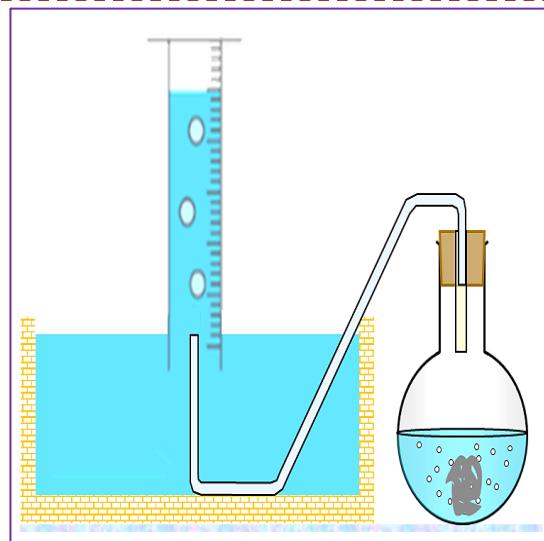
- On dit qu'un mélange est stœchiométrique si tous les réactifs sont complètement consommés à l'état final .
- On considère l'équation chimique suivante : $aA + bB \rightarrow cC + dD$, le mélange est stœchiométrique, donc: $\frac{n_i(A)}{a} = \frac{n_i(B)}{b}$

III Application

Pour étudier la réaction de l'acide chlorhydrique avec le zinc, on introduit dans un ballon, une tournure de zinc $Zn_{(s)}$ de masse $m = 3,27\text{g}$ et on y verse à un volume $V_A = 10\text{mL}$ d'une solution aqueuse d'acide chlorhydrique ($H^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$) de concentration $C_A = 4\text{mol.L}^{-1}$.

À l'aide du montage expérimentale schématisé ci-contre, on mesure le volume de dihydrogène H_2 formé à l'état final et on trouve : $V_f(H_2) = 438\text{mL}$

- ① Calculer les quantités de matière initiales des réactifs.
- ② Faire le bilan des espèces chimiques présentes dans le mélange à l'état initial.
- ③ Écrire l'équation de la réaction chimique de l'acide chlorhydrique et le zinc, sachant qu'il se produit les ions $Zn^{2+}_{(aq)}$ et le dihydrogène gazeux lors de cette transformation.
- ④ Compléter le tableau d'avancement associé à cette réaction.
- ⑤ Déterminer le réactif limitant et l'avancement maximal de cette réaction.
- ⑥ Déterminer le bilan de la quantité de matière du système à l'état final.

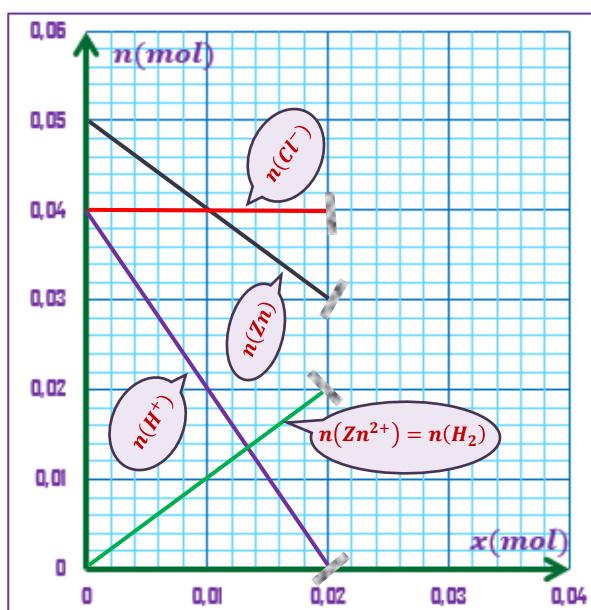


Équation		$Zn_{(s)}$	$+ 2H^+_{(aq)}$	\rightarrow	$Zn^{2+}_{(aq)}$	$+ H_2(g)$
État	Avancement	Les quantités de matière en mole (mol)				
Initial	0	5×10^{-2}	4×10^{-2}		0	0
Intermédiaire	x	$5 \times 10^{-2} - x$	$4 \times 10^{-2} - 2x$		x	x
Final	x_{max}	$5 \times 10^{-2} - x_{max}$	$4 \times 10^{-2} - 2x_{max}$		x_{max}	x_{max}

- ⑦ Calculer le volume de H_2 formé à la fin de la réaction et la comparer avec celle mesurer expérimentalement .
- ⑧ Représenter sur la figure ci-contre les courbes représentant les variations des quantités de matière des espèces chimiques qui se trouvent dans le mélange en fonction de l'avancement x de la réaction.

Données :

- Le volume molaire : $V_m = 24\text{L.mol}^{-1}$
- La masse molaire de zinc : $M(Zn) = 65,4\text{g/mol}$



❶ Les quantités de matière initiales des réactifs.

$$\text{On a : } n_i(H^+) = C_A \cdot V_A$$

$$\text{A.N: } n_i(H^+) = 4 \times 10 \times 10^{-3}$$

$$\text{On trouve : } n_i(H^+) = 4 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

$$\text{On a : } n_i(\text{Zn}) = \frac{m}{M(\text{Zn})}$$

$$\text{A.N: } n_i(\text{Zn}) = \frac{3,27}{65,4}$$

$$\text{On trouve : } n_i(\text{Zn}) = 5 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

❷ Les espèces chimiques présentes dans le mélange à l'état initial sont:



❸ L'équation de réaction chimique de l'acide chlorhydrique et le zinc est:



❹ Voir le tableau dans la page précédente .

❺ Déterminons l'avancement maximal et le réactif limitant.

- Si **Zn** est le réactif limitant, on aura : $5 \times 10^{-2} - x_{max1} = 0$

$$\text{Donc : } x_{max1} = 5 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

- Si **H⁺** est le réactif limitant, on aura : $4 \times 10^{-2} - 2x_{max2} = 0$

$$\text{Donc : } x_{max2} = \frac{4 \times 10^{-2}}{2} = 2 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

- Puisque $x_{max2} < x_{max1}$, donc le réactif limitant est les ions d'argent **H⁺** et $x_{max} = x_{max2} = 2 \times 10^{-2} \text{ mol}$

❻ Déterminons le bilan de la quantité de matière à l'état final.

Équation		$\text{Zn}_{(s)} + 2H^+_{(aq)} \rightarrow \text{Zn}^{2+}_{(aq)} + H_{2(g)}$	Les quantités de matière en mole (mol)			
État	Avancement					
Final	2×10^{-2}	3×10^{-2}	0		2×10^{-2}	2×10^{-2}

$$\text{❷ On a } n_f(H_2) = \frac{V_f(H_2)}{V_m}$$

$$\text{A.N: } V_f(H_2) = 2 \times 10^{-2} \times 24$$

On trouve : $V_f(H_2) = 0,48L$. On constate que la valeur attendue est quasiment égale à la valeur expérimentale

❸ Voir le graphe de la page précédente.

❖ Résumé

En s'appuyant sur le tableau d'avancement de la réaction, on peut prédire la composition du système à l'état final.

Série d'exercices

Exercice 1

① Équilibrer les équations chimiques suivantes :

- | | |
|---|---|
| ▪ $Cu^{2+} + HO^- \rightarrow Cu(HO)_2$ | ▪ $O_2 + H_2 \rightarrow H_2O$ |
| ▪ $C_4H_{10} + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$ | ▪ $KI + Cl_2 \rightarrow I_2 + KCl$ |
| ▪ $H_2O_2 \rightarrow O_2 + H_2O$ | ▪ $AgNO_3 + Cu \rightarrow Cu(NO_3)_2 + Ag$ |
| ▪ $H_2S + O_2 \rightarrow SO_2 + S + H_2O$ | ▪ $Cl^- + H_2O \rightarrow Cl_2 + H_2 + HO^-$ |
| ▪ $MnO_2 + HCl \rightarrow MnCl_2 + Cl_2 + H_2O$ | ▪ $NaHCO_3 \rightarrow Na_2CO_3 + CO_2 + H_2O$ |
| ▪ $CaCO_3 + H_2O \rightarrow HO^- + Ca^{2+} + CO_2$ | ▪ $NaI + Pb(NO_3)_2 \rightarrow NaNO_3 + PbI_2$ |

Exercice 2

La combustion complète du propane C_3H_8 dans l'oxygène de l'air conduit à la formation du dioxyde de carbone CO_2 et de l'eau H_2O .

On brûle une masse $m = 7,8\text{g}$ du propane dans l'air.

- ① Déterminer les noms et les formules chimiques des réactifs et des produits de cette réaction.
- ② Calculer la quantité de matière initiale du propane.
- ③ Construire le tableau d'avancement associé à la réaction étudiée.
- ④ Déterminer le réactif limitant et l'avancement maximal de cette réaction.
- ⑤ Déterminer la composition du système à l'état final .
- ⑥ Calculer le volume du dioxyde de carbone à l'état final

Données :

- Le volume molaire dans les conditions expérimentales : $V_m = 24\text{L.mol}^{-1}$
- Les masses molaires : $M(C) = 12\text{g.mol}^{-1}$; $M(O) = 16\text{g.mol}^{-1}$; $M(H) = 1\text{g.mol}^{-1}$

Exercice 3

On verse une solution concentrée d'hydroxyde de sodium ($Na^+ + HO^-$) dans un bêcher contenant un volume $V = 20\text{mL}$ d'une solution de sulfate de cuivre II ($Cu^{2+} + SO_4^{2-}$) de concentration C . Après quelques secondes il se forme un précipité bleu appelé l'hydroxyde de cuivre sa formule chimique est : $Cu(HO)_2$

- ① Déterminer les réactifs et les produits cette transformation .
- ② Écrire l'équation de la réaction qui se produit dans le bêcher.
- ③ Construire le tableau d'avancement associé à cette réaction.
- ④ Après séchage du précipité obtenu, on le pèse et on trouve : $m = 290\text{mg}$
 - a - Calculer la quantité de matière de l'hydroxyde de cuivre $Cu(HO)_2$ à l'état final.
 - b - Calculer la valeur de l'avancement maximal de cette réaction.(l'hydroxyde de sodium est utilisé en excès) .
 - c - Calculer la quantité de matière initiale des ions Cu^{2+} dans le bêcher et déduire la valeur de la concentration C .

Données :

- Les masses molaires : $M(Cu) = 63,5\text{g.mol}^{-1}$; $M(O) = 16\text{g.mol}^{-1}$; $M(H) = 1\text{g.mol}^{-1}$

Exercice 4

On mélange, dans un bécher une solution contenant une quantité de matière n_1 de diiode I_2 avec une autre solution contenant une quantité de matière n_2 de thiosulfate de sodium ($2Na^+ + S_2O_3^{2-}$). Au cours du temps il se forme les ions d'iodure I^- et les ions tétrathionate de formule chimique $S_4O_6^{2-}$.

① Déterminer les réactifs et des produits de cette réaction .

② Écrire l'équation de cette réaction.

③ Construire le tableau d'avancement associé à la réaction en fonction de n_1 , n_2 , x et x_{max} .

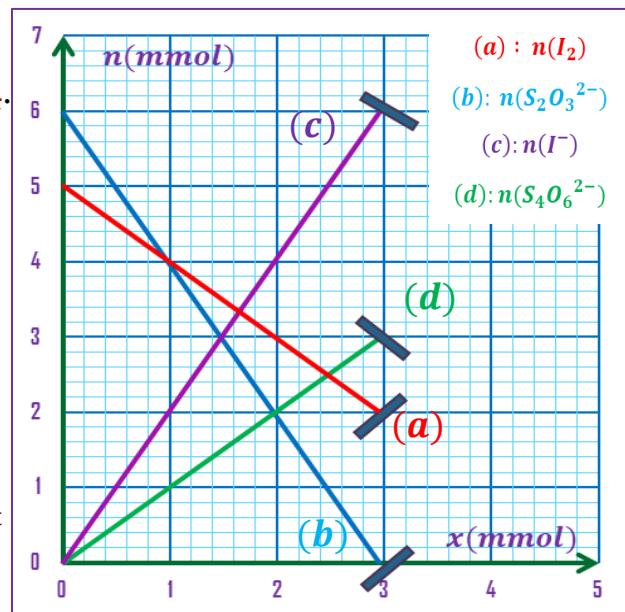
④ La courbe ci-contre représente l'évolution des quantités de matière des espèces chimiques constituant le système chimique en fonction de l'avancement x de la réaction. En exploitant la courbe déterminer :

a – Les quantités de matière initiales des réactifs

b – L'avancement maximal de cette réaction.

c – Le réactif limitant de cette réaction.

d – Le bilan de la quantité de matière à l'état final.



Exercice 5

On réalise la combustion complète d'une masse $m = 23,2\text{g}$ d'un composé organique gazeux de formule chimique C_nH_{2n+2} dans une quantité suffisante de dioxygène O_2 . Cette combustion produit un volume $m = 38,4\text{L}$ du dioxyde de carbone CO_2 .

① Écrire l'équation de la réaction qui se produit lors de cette de combustion..

② Construire le tableau d'avancement associé à cette réaction.

③ Quel est le réactif limitant de cette réaction de combustion ?

④ Calculer la quantité de matière du dioxyde de carbone CO_2 formé.

⑤ Déterminer la valeur de l'avancement maximale de cette réaction.

⑥ Calculer la quantité la quantité de matière initiale du composé organique.

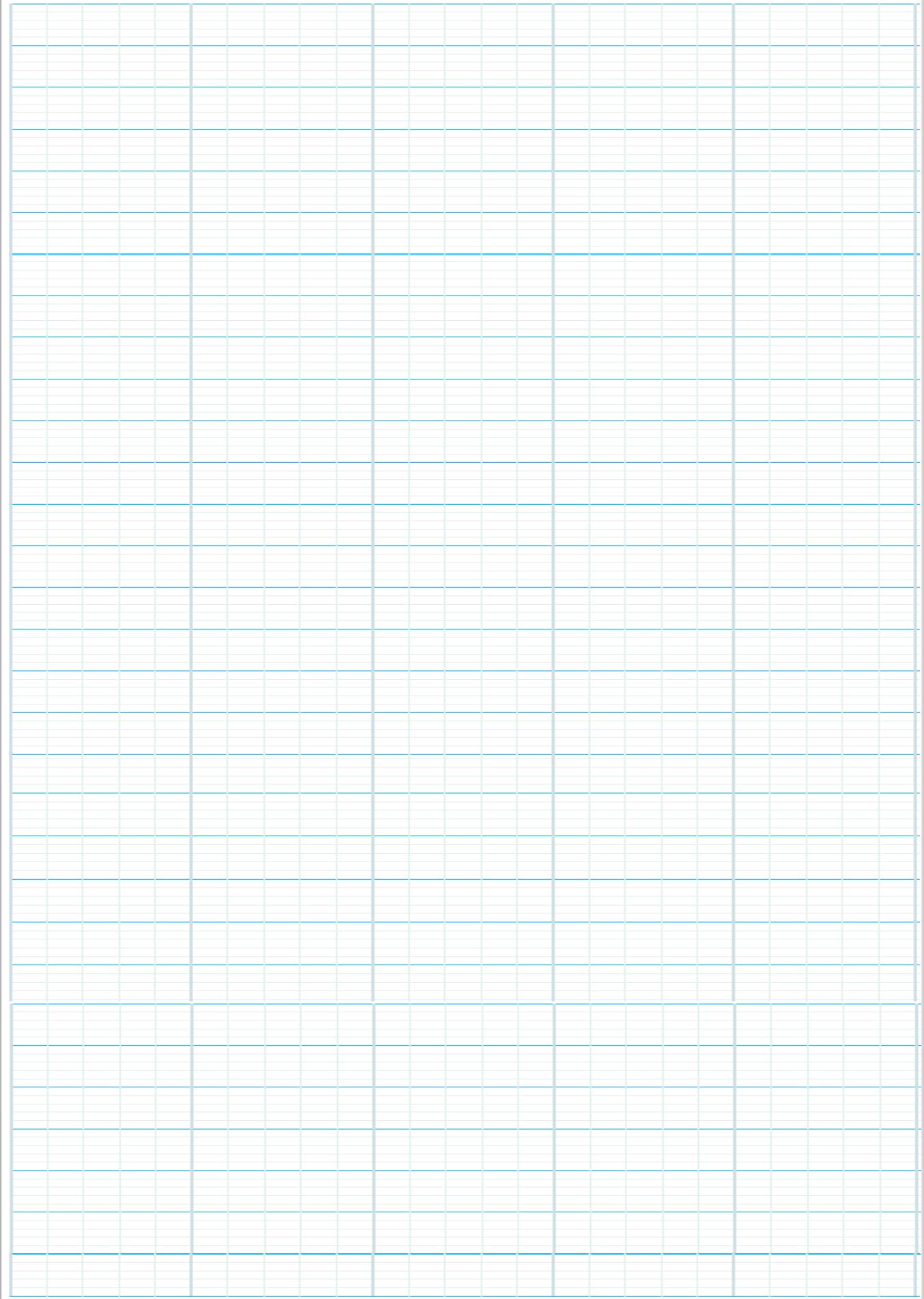
⑦ Calculer la quantité de matière du dioxygène consommée lors de cette combustion.

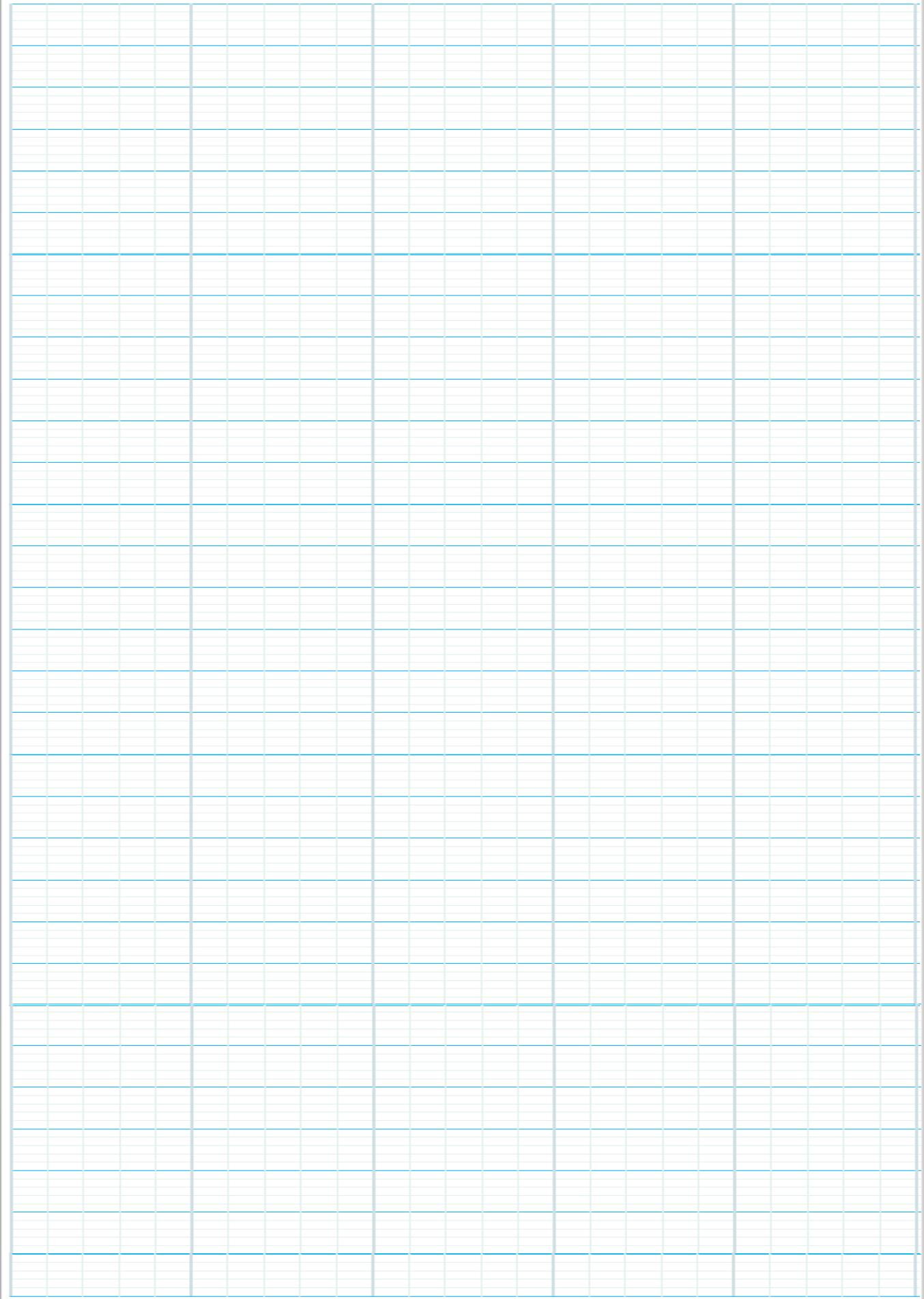
⑧ Calculer la masse molaire du composé organique.

⑨ Déterminer la formule chimique de ce composé et quel est son nom ?

Données :

- Les masses molaires : $M(Cu) = 63,5\text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(O) = 16\text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(H) = 1\text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
- Le volume molaire dans les conditions de l'expérience : $V_m = 26,02\text{L}$







Situation-problème

L'eau de mer est un bon conducteur de l'électricité , contrairement à l'eau pure.

- 💡 Comment mesurer la conductance d'une solution aqueuse? et quelle est l'importance de cette mesure en chimie?
- 💡 Quelle sont les facteurs influençant la conductance d'une solution électrolytique ?

Objectifs

- 💡 Définir la solution électrolytique.
- 💡 Savoir mesurer la conductance d'une portion d'une solution électrolytique.
- 💡 Connaître la relation entre la conductance et la résistance d'une portion d'une solution électrolytique,
- 💡 Savoir que la conductance d'une portion d'une solution électrolytique dépend d'une part des dimensions de la cellule conductimétrique et d'autre part des propriétés de la solution.
- 💡 Construire la courbe d'étalonnage et savoir l'exploiter pour déterminer la conductance d'une solution électrolytique
- 💡 Définir la conductivité d'une solution électrolytique .

I

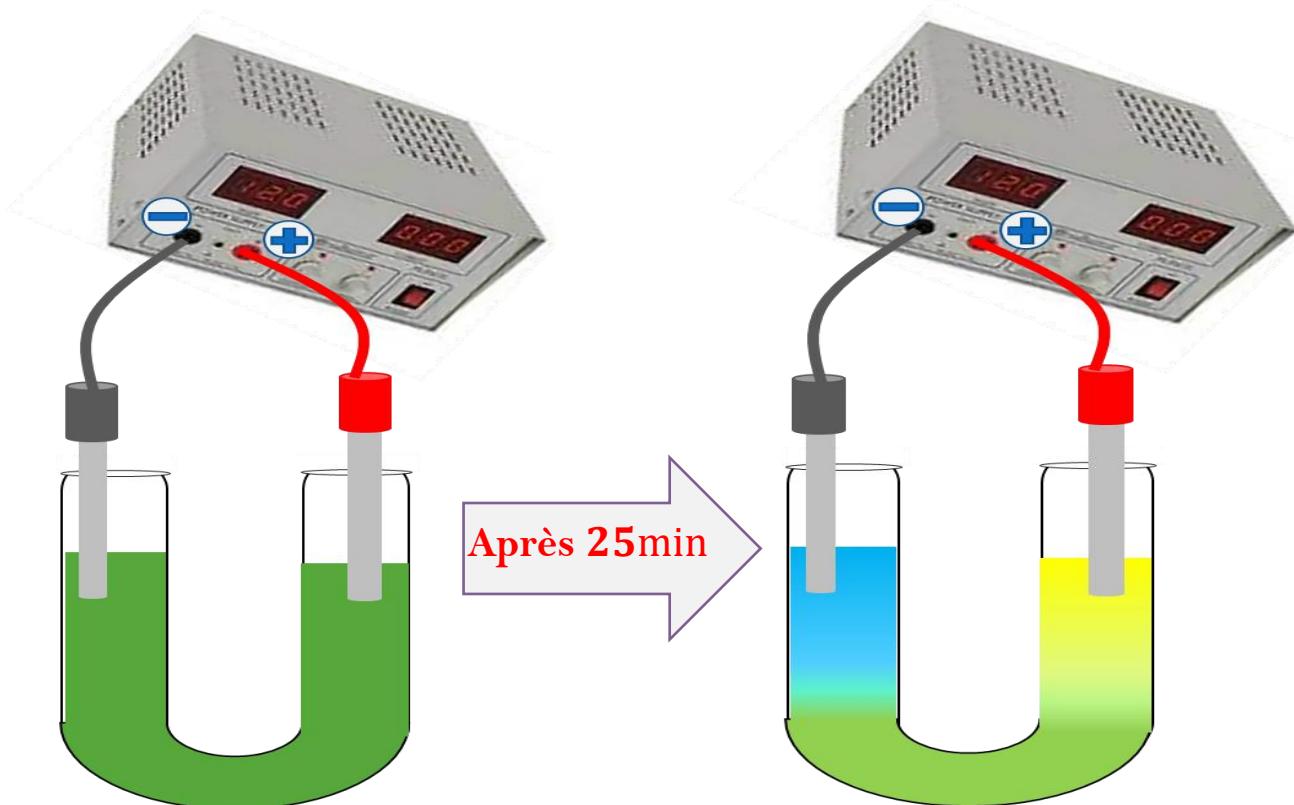
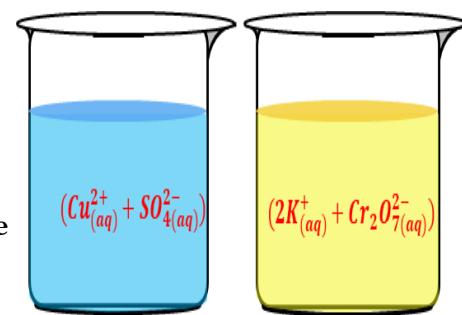
Conductance d'une solution aqueuse

① Nature du courant électrique dans les solutions électrolytiques

❖ Activité

On introduit dans un tube en **U** une solution de dichromate de potassium ($2K_{(aq)}^+$ + $Cr_2O_7^{2-}_{(aq)}$) et une solution de sulfate de cuivre II ($Cu_{(aq)}^{2+}$ + $SO_4^{2-}_{(aq)}$)

On émerge dans chaque extrémité du tube, une électrode de graphite. Ensuite on branche les deux électrodes à un générateur électrique à un instant $t = 0\text{min}$.



- ① Quelle est l'espèce chimique responsable de la couleur bleue dans la solution de sulfate de cuivre ?
- ② Quelle est l'espèce chimique responsable de la couleur jaune dans la solution de dichromate de potassium ?
- ③ Quelles sont les observations expérimentales mises en évidence par cette expérience ?
- ④ Déterminer le sens de déplacement des différents porteurs de charge dans la solution
- ⑤ Déduire la nature du courant électrique dans les solutions électrolytiques .

- ① L'espèce chimique responsable de la couleur bleue dans la solution de sulfate de cuivre sont les ions de cuivre $Cu_{(aq)}^{2+}$.
- ② L'espèce chimique responsable de la couleur la couleur jaune dans la solution de

③ Au cours de cette expérience, on constate que:

- L'apparition d'une couleur bleue au voisinage de la cathode(pôle négatif), c'est la couleur caractérisant les ions de cuivre $Cu_{(aq)}^{2+}$.
- L'apparition d'une couleur jaune au voisinage de l'anode(pôle positif), c'est la couleur caractérisant les ions de dichromate $Cr_2O_{7(aq)}^{2-}$.

④ Les cations migrent vers la cathode et les ions migrent vers l'anode .

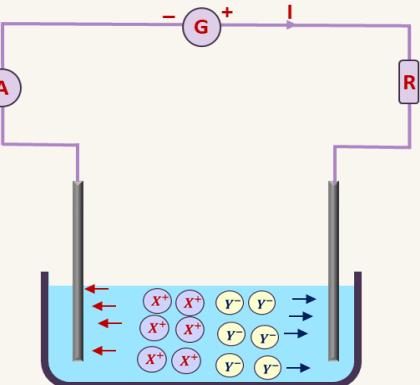
⑤ Les porteurs de charge électrique dans les solutions électrolytiques sont les ions tel que :

- Les cations se déplacent dans le sens conventionnel du courant.
- Les anions déplacent dans le sens inverse du sens conventionnel du courant.

❖ Conclusion

Dans les solutions électrolytiques, le courant électrique produit par un double déplacement des porteurs de charges :

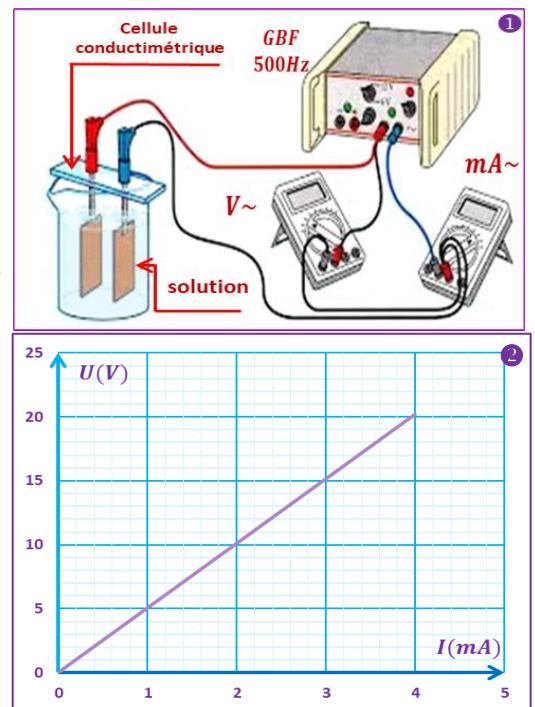
- Les ions positifs (les cations) se déplace dans le sens conventionnel du courant électrique.
- Les ions négatifs (les anions) se déplace dans le sens inverse du sens conventionnel du courant électrique.



② Conductance d'une solution électrolytique

❖ Activité

On immerge la cellule conductimétrique dans bêcher contenant une solution de chlorure de sodium puis on applique une tension alternative sinusoïdale à l'aide d'un **GBF**. On fixe la fréquence de **GBF** à une grande valeur (**F = 500Hz**), puis fait varier la tension du **GBE** et à chaque fois on enregistre la valeur de la tension efficace **U** aux bornes des électrodes de la cellule et l'intensité du courant **I** qui les traverse.(la figure ①). L'ensemble des résultats obtenus ont permis de tracer la courbe **U = f(I)** (la figure ②)



- ① Pourquoi la fréquence du générateur a-t-elle été fixée à une grande valeur ?

- ② La loi d'Ohm est-elle validée pour cette solution électrolytique ?
- ③ Calculer la résistance de la portion de la solution qui se trouve entre les deux plaques, et déduire sa conductance .
- ① On fixe la fréquence du GBF à une grande valeur pour éviter l'apparition des réactions chimiques provoquée par le passage du courant électrique dans le circuit.
- ② On constate que le courbe $U = f(I)$ est linéaire ce qui signifier la loi d'Ohm est vérifiée pour cette solution .

③ On a $U = R \cdot I$ donc : $R = \frac{0-5}{(0-1) \times 10^{-3}} = 5 \times 10^3 \Omega$

Et $G = \frac{1}{R} = \frac{1}{5 \times 10^3}$ on trouve : $G = 2 \times 10^{-2} S$

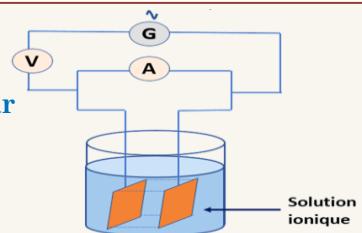
❖ Conclusion

L'intensité du courant électrique circulant dans une portion d'une solution contenue entre deux plaques conductrices est proportionnelle avec la tension entre ces deux plaques, le coefficient de proportionnalité est appelé la conductance : $I = G \cdot U$ avec $G = \frac{1}{R}$

- I : l'intensité de courant traversant la solution en A
- U : la tension entre les deux plaques en V
- G : la conductance de la portion de la solution contenue entre les deux plaques en siemens (S)
- R : la résistance de la portion de la solution contenue entre les deux plaques en Ω

❖ La cellule conductimétrique

- La cellule conductimétrique est constituée de deux plaques conductrices, planes, parallèles, de même surface S et séparées par une distance L .



❖ Application

La tension efficace entre les plaques d'une cellule conductimétrique est $U = 1,2V$ et l'intensité de courant efficace qui traverse la solution entre ces deux plaques est $I = 13,7mA$

- ① Calculer la conductance de la portion de la solution contenue entre les deux plaques est déduire sa résistance

① On a $G = \frac{I}{U}$ donc : $G = \frac{13,7 \times 10^{-3}}{1,2} = 1,14 \times 10^{-2} S$

Et $R = \frac{1}{G} = \frac{1}{1,14 \times 10^{-2}}$ on trouve : $R = 87,7 \Omega$

II Facteurs influençant la conductance d'une solution aqueuse

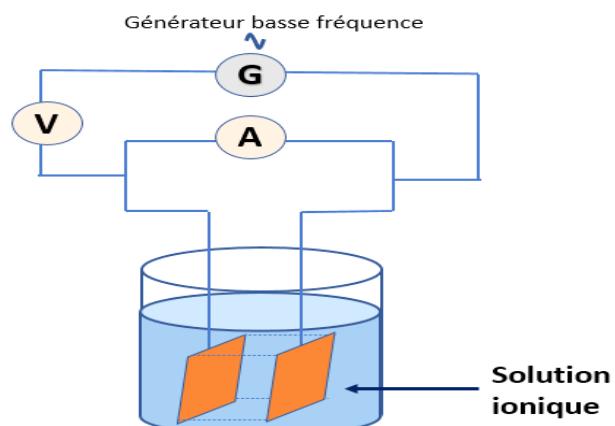
① Facteurs associés à la cellule conductimétrique

❖ Activité

Manipulation 1

On fixe la distance entre les plaques de la cellule conductimétrique sur la valeur $L = 1\text{cm}$ et on les plonge dans bêcher contenant une solution de chlorure de sodium de concentration $C = 10^{-3}\text{ mol.L}^{-1}$ puis on applique une tension alternative sinusoïdale à l'aide d'un **GBF**.

On fixe la fréquence de **GBF** à une grande valeur, puis fait varier la surface immergée, en déplaçant les plaques verticalement dans la solution et à chaque fois on enregistre la valeur de la tension efficace **U** entre ces deux plaques et l'intensité du courant **I** qui les traverse.(la figure ci-contre).



L'ensemble des résultats obtenus ont permis d'obtenir le tableau suivant.

$S(\text{cm}^2)$	1	2	3	4
$U(\text{V})$	2,3	2,3	2,3	2,3
$I(\text{mA})$	0,30	0,61	0,90	1,20
$G(\text{mS})$	0,13	0,26	0,38	0,51
$\frac{G}{S}(\text{S.m}^{-2})$	1,3	1,3	1,3	1,3

① Compléter le tableau ci-dessus.

② Que peut-on déduire de cette manipulation.

① Voir le tableau dans la page précédente.

② D'après les résultats du tableau, on constate que le rapport $\frac{G}{S}$ reste constant, donc la conductance est proportionnelle avec la surface immergée (G augmente lorsque la S augmente).

▪ Manipulation 2

On garde le même montage expérimental précédent et on fixe la surface immergée à la valeur $S = 2\text{cm}^2$.

On fait varier la distance L séparant les deux plaques et à chaque fois on enregistre la valeur de la tension efficace U entre ces deux plaques et l'intensité du courant I qui les traverse. Le tableau suivant montre les résultats obtenus.

$L(\text{cm})$	1	1,5	2	2,5
$U(\text{V})$	2,3	2,3	2,3	2,3
$I(\text{mA})$	0,60	0,40	0,3	0,24
$G(\text{mS})$	0,26	0,173	0,13	0,104
$G \cdot L(S \cdot \text{m} \times 10^{-6})$	2,6	2,6	2,6	2,6

③ Compléter le tableau ci-dessus

④ Que peut-on déduire de cette manipulation.

⑤ Voir le tableau ci-dessus .

⑥ D'après les résultats du tableau, on constate que le produit $G \cdot L$ reste constant, donc la conductance est inversement proportionnelle à la distance L (G diminue lorsque la L augmente).

❖ Conclusion

La conductance G d'une portion d'une solution contenue entre deux plaques dépend de la surface immergée des deux plaques et de la distance L qui les sépare.

- G augment lorsque S augmente .
- G augmente lorsque L diminue .
- G dépend de l'état des plaques .

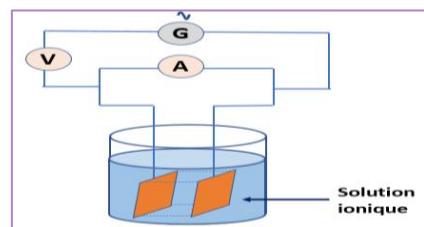
② Facteurs associés à la solution

❖ Activité

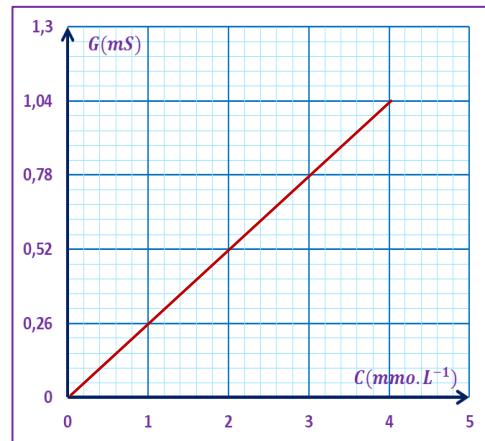
▪ Manipulation 1

On fix les dimensions de la cellule de mesure sur les valeurs suivantes: $S = 2\text{cm}^2$ et $L = 1\text{cm}$ puis on mesure la conductance de la portion de la solution contenue entre les deux plaques pour des solutions de chlorure de sodium de concentrations différentes et on enregistre les résultats obtenus dans le tableau

Solution	S_1	S_2	S_3	S_4
$C(\text{mmol.L}^{-1})$	1	2	3	4
$G(\text{mS})$	0,26	0,52	0,78	0,104



- Tracer sur le document ci-contre l'évolution de la conductance en fonction de la concentration
 - Quelle est la nature de la courbe $G = f(C)$?
 - Comment la conductance change-t-elle avec la concentration ?
- 1 Voir la courbe ci-contre
- 2 La courbe $G = f(C)$ est une fonction linéaire d'équation : $G = a \cdot C$



- D'après la courbe $G = f(C)$ on constate que la conductance augmente avec l'augmentation de la concentration

Manipulation 2

On fixe les dimensions de la cellule de mesure sur les valeurs suivantes: $S = 2\text{cm}^2$ et $L = 1\text{cm}$ puis on mesure la conductance de la portion de la solution contenue entre les deux plaques

pour deux solutions (S) et (S') de même solution tel que:

- (S) est une solution de $(H_3^+O + Cl^-)$.
- (S') est une solution de $(Na^+ + HO^-)$

<i>solution</i>	(S)	(S')
$C(\text{mmol.L}^{-1})$	1,5	1,5
$G(\text{mS})$	0,85	0,74

Les résultats obtenus sont enregistrés dans le tableau ci-contre:

- Comparer les conductivités des deux solutions et conclure ?
- On constate que $G \neq G'$, on conclut que la conductance d'une solution dépend de la nature des ions qu'elle contient.

Conclusion

La conductance G d'une portion d'une solution électrolytique contenue entre deux plaques dépend des propriétés de la solution .

- G augmente avec l'augmentation de la concentration de la concentration $G = a \cdot C$.
- G augmente avec l'augmentation de la température de la solution.
- G dépend de la nature du soluté, c'est-à-dire la nature des ions présents dans la solution.

② La courbe d'étalonnage

♦ Définition

La mesure de la conductance des solutions de même soluté et de concentrations différentes, permet de tracer la courbe $G = f(t)$ qui s'appelle courbe d'étalonnage .

Cette courbe est exploitée pour déterminer la concentration d'une solution de même soluté en mesurant sa conductance à l'aide de la même cellule conductimétrique.

❖ Les limites de la courbe d'étalonnage

Pour déterminer la concentration d'une solution à l'aide de la courbe d'étalonnage, il faut que :

- La solution contient un seul solvant.
- Tous les facteurs doivent être constants .
- La solution doit être diluée ($C < 1,5 \times 10^{-2} \text{ mol. L}^{-1}$)

III La conductivité molaire d'une solution électrolytique

① Définition

La conductivité d'une solution électrolytique est une grandeur physique qui exprime l'aptitude de cette solution de conduire le courant électrique.

La conductivité d'une solution électrolytique notée σ et son unité est S. m^{-1} se mesure à l'aide d'un appareil appelé « conductimètre »

La relation entre la conductivité et la conductance est : $G = \sigma \cdot \frac{S}{L}$ tel que :

- G : est la conductance en S .
- σ : est la conductivité en S. m^{-1}
- S : est la surface immergée en m^2
- L : est la distance entre les deux plaques en m

❖ Remarque

Le rapport $K = \frac{S}{L}$ est un facteur caractérisant la cellule conductimétrique, son unité est m

❖ Application

Une cellule conductimétrique plongée dans une solution électrolytique et branchée à un générateur délivrant une tension électrique alternative sinusoïdale . La mesure de la tension aux bornes de cette cellule et de l'intensité de courant qui la traverse donne : $U = 4,7V$ et $I = 14,3mA$

① Calculer la conductance de la portion de la solution contenue entre les deux plaques est déduire sa résistance .

② Déduire la valeur de la conductivité de la solution étudiée .

On donne la constante de la cellule conductimétrique : $K = 0,03\text{m}$

① On calcule la valeur de la conductance G

$$\text{On a : } G = \frac{I}{U}$$

$$\text{A.N : } G = \frac{14,3 \times 10^{-3}}{4,7}$$

$$\text{On trouve : } G = 3,02 \times 10^{-3} S$$

② Déduisons la valeur de la conductivité σ

$$\text{On a : } G = K \cdot \sigma$$

$$\text{Donc : } \sigma = \frac{G}{K}$$

$$\text{A.N : } \sigma = \frac{3,02 \times 10^{-3}}{0,03}$$

$$\text{On trouve : } \sigma = 1,01 \times 10^{-1} S \cdot m^{-1}$$

② La relation entre la conductivité et la concentration

La conductivité d'une solution électrolytique diluées s'exprime par la relation suivante :

$$\sigma = \sum \lambda_{X_i} \cdot [X_i] \text{ tel que :}$$

- σ : est la conductivité de la solution en $S \cdot m^{-1}$
- λ_{X_i} : est la conductivité molaire ionique de l'ion X_i en $S \cdot m^2 \cdot mol^{-1}$
- $[X_i]$: est la concentration molaire effective de lion X_i dans la solution en $mol \cdot m^{-3}$

❖ Remarques

- La conductivité d'une solution électrolytique dépend de la concentration et la température de cette solution ainsi que de la nature des ions qu'elle contient.
- La conductivité ionique molaire λ_{X_i} une grandeur physique qui exprime l'aptitude de l'ion de conduire le courant électrique dans la solution.

❖ Exemples :

Le tableau suivant donne les valeurs de la conductivité molaire ionique de quelques ions à 25°C

<i>L'ion</i>	La conductivité molaire ionique en $S \cdot m^2 \cdot mol^{-1}$	<i>L'ion</i>	La conductivité molaire ionique en $S \cdot m^2 \cdot mol^{-1}$
H^+	$3,50 \times 10^{-2}$	HO^-	$1,98 \times 10^{-2}$
Na^+	$5,01 \times 10^{-3}$	$HCOO^-$	$5,46 \times 10^{-3}$
NH_4^+	$7,35 \times 10^{-3}$	Br^-	$7,81 \times 10^{-3}$
K^+	$7,35 \times 10^{-3}$	Cl^-	$7,63 \times 10^{-3}$

❖ Application

On dispose d'une solution d'hydroxyde de sodium ($Na^+ + HO^-$) de concentration molaire

$$C = 2 \times 10^{-2} mol \cdot L^{-1}$$

① Exprimer la conductivité de cette solution en fonction de λ_{HO^-} , λ_{Na^+} et C .

② Calculer la conductivité de cette solution.

① Déterminons l'expression de la conductivité :

$$\text{On a : } \sigma = \lambda_{HO^-} \cdot [HO^-] + \lambda_{Na^+} \cdot [Na^+] \text{ avec } [Na^+] = [HO^-] = C$$

$$\text{Donc : } \sigma = (\lambda_{HO^-} + \lambda_{Na^+}) \cdot C$$

② Calculons la conductivité de cette solution.

$$\text{On a : } \sigma = (\lambda_{HO^-} + \lambda_{Na^+}) \cdot C$$

$$\text{A.N : } \sigma = (1,98 \times 10^{-2} + 5,01 \times 10^{-3}) \times 2 \times 10^{-2} \times 10^3$$

$$\text{On trouve : } \sigma = 4,96 \times 10^{-1} S \cdot m^{-1}$$

Série d'exercices

Exercice 1

① Répondre par vrai ou faux

- Les porteurs de charge responsables du passage du courant électrique dans les solutions électrolytiques, sont les électrons libres .
- La conductance d'une portion d'une solution augmente lorsqu'on rapproche les plaques .
- La conductivité molaire ionique est un facteur caractérisant le pouvoir de la solution de conduire le courant électrique.
- La conductivité d'une solution électrolytique dépend de sa température.
- La conductivité est la même pour toutes les solutions de même concentration.
- À une température donnée la conductance d'une solution d'hydroxyde de sodium est toujours proportionnelle à sa concentration même si la solution est concentrée

Exercice 2

À l'aide d'une cellule conductimétrique de constante $K = 2\text{cm}$, on mesure la conductance d'une portion d'une solution aqueuse (S) de méthanoate de sodium ($\text{Na}^+ + \text{HCOO}^-$) de concentration C , on trouve : $G = 22\text{mS}$

- ① Calculer la résistance de la portion de la solution contenue entre les deux plaques .
- ② Calculer la tension électrique efficace aux bornes de la cellule conductimétrique sachant que l'intensité efficace du courant qui la traverse est: $I = 12,5\text{mA}$
- ③ Calculer la conductivité de la solution (S) et déduire sa concentration.

Données: $\lambda_{\text{Na}^+} = 5,01\text{mS}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mol}^{-1}$; $\lambda_{\text{HCOO}^-} = 5,46\text{mS}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mol}^{-1}$

Exercice 3

La mesure de la conductivité d'une solution (S_0) d'iodure de potassium ($\text{K}^+ + \text{I}^-$) donne la valeur : $\sigma_0 = 30,2\text{mS}\cdot\text{m}^{-1}$

- ① Calculer la conductance d'une portion de cette solution sachant que la constante de la cellule utilisée est : $K = 1,5\text{cm}$
- ② Calculer la concentration de la solution.
- ③ On prépare une solution (S_1) d'iodure de potassium en diluant la solution (S_0) cinq fois .
 - a – Exprimer la conductivité σ_1 de la solution (S_1) en fonction de la conductivité σ_0 de la solution (S_0) .
 - b – Calculer la valeur de σ_1

Données: $\lambda_{\text{K}^+} = 7,4\text{mS}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mol}^{-1}$; $\lambda_{\text{I}^-} = 7,7\text{mS}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mol}^{-1}$

Série d'exercices

Exercice 4

On prépare solution (S) de chlorure de sodium ($\text{Na}^+_{(aq)} + \text{Cl}^-_{(aq)}$) de concentration C et de volume $V = 50\text{mL}$, en dissolvant une masse $m = 1,3\text{g}$ du chlorure de sodium $\text{NaCl}_{(s)}$ dans l'eau distillée.

① Calculer la quantité de matière dissoute et déduire la concentration de la solution (S).

② Calculer la conductivité de la solution (S).

Données: $\lambda_{\text{Na}^+} = 5,01\text{mS}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mol}^{-1}$; $\lambda_{\text{Cl}^-} = 7,63\text{mS}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mol}^{-1}$; $M(\text{NaCl}) = 58,44\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$

Exercice 5

On verse dans un bécher un volume $V = 2 \times 10^{-4}\text{m}^3$ d'une solution d'hydroxyde de sodium ($\text{Na}^+_{(aq)} + \text{HO}^-_{(aq)}$) de concentration $C_1 = 10\text{mol}\cdot\text{m}^{-3}$; et on lui ajoute à l'instant $t = 0\text{s}$ une quantité de matière $n_0 = 2 \times 10^{-3}\text{mol}$ de méthanoate de méthyle (le volume du mélange reste constant).

L'équation de la réaction est : $\text{HCO}_2\text{CH}_3_{(aq)} + \text{HO}^-_{(aq)} \rightarrow \text{HCO}_2^-_{(aq)} + \text{CH}_3\text{OH}_{(aq)}$

① Dresser le tableau d'avancement de cette réaction.

② Déterminer le réactif limitant et l'avancement maximale de cette réaction.

③ Exprimer les concentrations effectives des ions $\text{HO}^-_{(aq)}$ et $\text{HCO}_2^-_{(aq)}$ en fonction de l'avancement de la réaction.

④ Montrer que la conductivité du mélange à un instant t est : $\sigma = -72,2 \cdot x + 0,25 (\text{Sm}^{-1})$

⑤ Calculer la conductivité du mélange à l'état final.

Ion	Na^+	HCO_2^-	HO^-
$\lambda (\text{Sm}^2\text{mol}^{-1}) \times 10^{-3}$	5,01	5,46	19,9

Exercice 6

Pour étudier la cinétique de la réaction de l'acide chlorhydrique avec le zinc, on introduit dans un ballon, une masse m de zinc en poudre $\text{Zn}_{(s)}$ et on y verse à l'instant un volume

$V_A = 80\text{mL}$ d'une solution aqueuse d'acide chlorhydrique (le volume du mélange est V_A) ($\text{H}_3\text{O}^+_{(aq)} + \text{Cl}^-_{(aq)}$) de concentration $C_A = 0,5\text{mol/L}$. On donne : $M(\text{Zn}) = 65,4\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$

L'équation de réaction est : $2\text{H}_3\text{O}^+_{(aq)} + \text{Zn}_{(s)} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + \text{H}_2(g) + 2\text{H}_2\text{O}_{(l)}$

① Calculer la quantité de matière initiale de $\text{H}_3\text{O}^+_{(aq)}$.

② Dresser le tableau d'avancement de cette réaction.

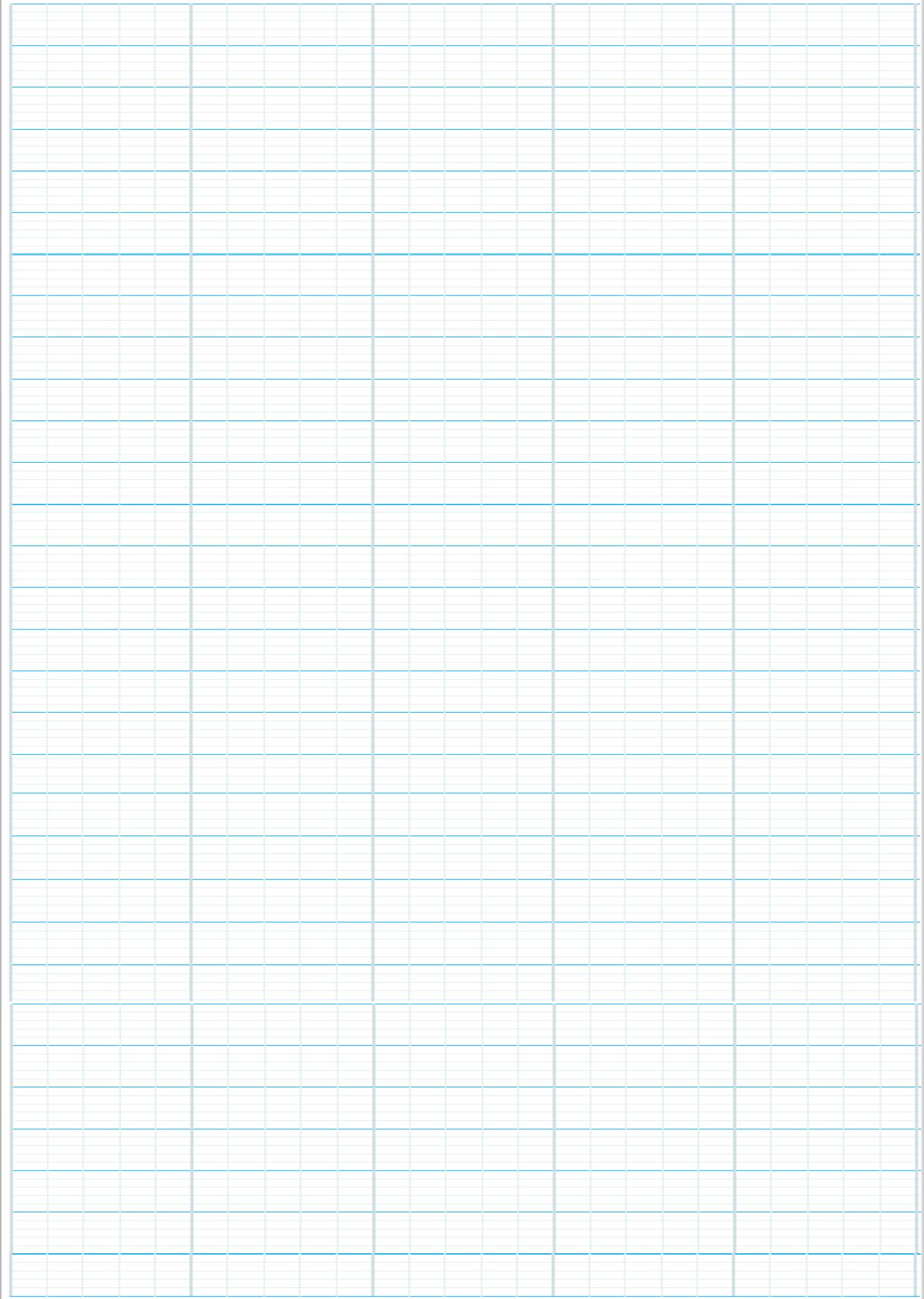
③ Montrer que la conductivité du mélange dans un état intermédiaire est :
$$\sigma = -7,42 \times 10^2 x + 21,30 (\text{Sm}^{-1})$$

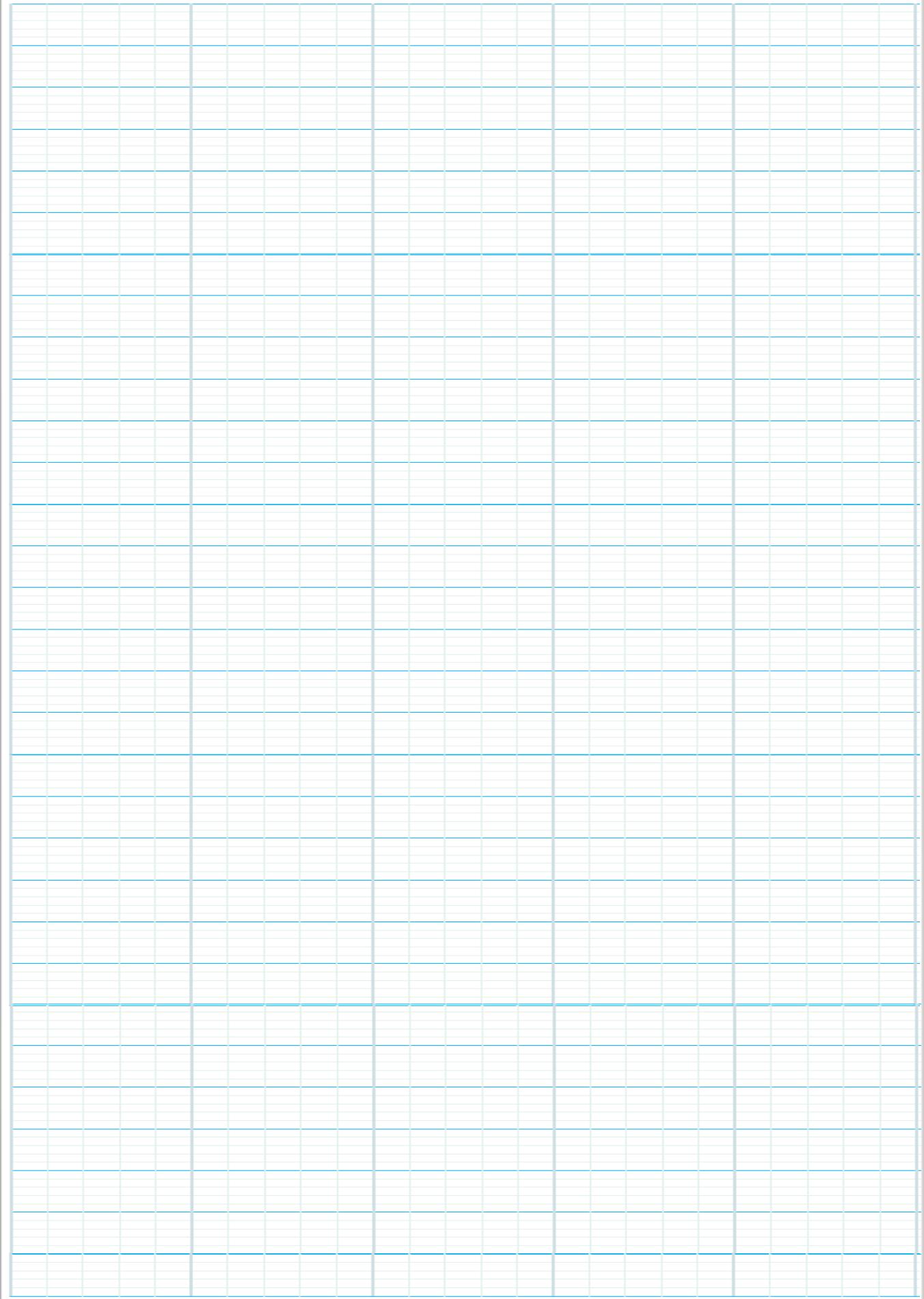
④ Calculer la valeur de l'avancement maximal x_{max} de la réaction, et déduire le réactif limitant sachant que la conductivité du mélange à l'état final est : $\sigma_f = 13,88\text{Sm}^{-1}$.

⑤ Calculer le bilan de la quantité de matière à l'état final.

⑥ Calculer masse initiale de zinc

Données : Les conductivités molaires ioniques : $\lambda_{\text{H}_3\text{O}^+} = 34,98\text{mS}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mol}^{-1}$;
 $\lambda_{\text{Zn}^{2+}} = 10,56\text{mS}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mol}^{-1}$; $\lambda_{\text{Cl}^-} = 7,63\text{mS}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mol}^{-1}$





Réactions acido-basiques



Situation-problème

L'hélianthine (méthylorange) est espèce chimique caractérisée par sa couleur orange. Lorsqu'on ajoute l'hélianthine à une solution d'acide chlorhydrique, la solution devient jaune, mais lorsqu'on l'ajoute à une solution d'hydroxyde de sodium (une base) la solution devient rouge. Le changement du couleur de la solution acide (ou basique) après avoir ajouté l'hélianthine est due à une transformation chimique appelée réaction acido-basique.

- 💡 Qu'est-ce qu'un acide ? Et qu'est-ce qu'une base ?
- 💡 Qu'est-ce qu'une réaction acidobasique ?
- 💡 Comment expliquer la différence de couleurs des deux solutions après y avoir ajouté de l'hélianthine alors qu'elles étaient incolores au début ?

Objectifs

- 💡 Définir les acides et les bases selon la théorie de Bronsted
- 💡 Connaître le couple acido-basique et sa semi-équation associée.
- 💡 Définir la réaction acido-basique et savoir écrire son équation.
- 💡 Définir l'indicateur coloré savoir écrire l'équation de sa réaction avec une solution acide ainsi qu'avec une solution basique.

① Définitions

- L'acide noté HA (ou BH^+) : Selon Bronsted est toute espèce chimique susceptible de perdre un proton H^+ lors d'une transformation chimique .
Exemples : HCl ; CH_3COOH ; NH_4^+
- La base A^- (ou B) : Selon Bronsted est toute espèce chimique susceptible acquière un proton H^+ lors d'une transformation chimique .
Exemples : NH_3 ; HO^- ; CH_3COO^-

② Le couple acide/base

Les espèces chimiques HA et A^- sont conjugués et forment un couple HA/A^- s'ils sont capables de se transformer de l'une à l'autre en gagnant ou en perdant un proton H^+

On associe au couple HA/A^- une demi-équation appelée la demi-équation acido-basique telle que : $A^- + H^+ \rightleftharpoons HA$

③ L'ampholyte

L'ampholyte : est une espèce chimique qui joue le rôle d'un acide dans un couple et le rôle d'une base dans un autre couple selon les conditions expérimentales . Les solutions correspondantes sont appelées amphotères .

Exemple : l'eau $H_2O_{(l)}$ est un ampholyte parce qu'il joue le rôle d'une base dans le couple

$H_3O_{(aq)}^+ / H_2O_{(l)}$, et le rôle d'un acide dans le couple $H_2O_{(l)}/HO_{(aq)}^-$.

❖ Application

1 Compléter le tableau ci-dessous

Acide	Base	Couple HA/A^-	Demi-équation $A^- + H^+ \rightleftharpoons HA$
HCl	Cl^-	HCl/Cl^-	$Cl^- + H^+ \rightleftharpoons HCl$
NH_4^+	NH_3	NH_4^+/NH_3	$NH_3 + H^+ \rightleftharpoons NH_4^+$
H_2O	HO^-	H_2O/HO^-	$HO^- + H^+ \rightleftharpoons H_2O$
$HCOOH$	$HCOO^-$	$HCOOH/HCOO^-$	$HCOO^- + H^+ \rightleftharpoons HCOOH$
$C_6H_8O_6$	$C_6H_7O_6^-$	$C_6H_8O_6/C_6H_7O_6^-$	$C_6H_7O_6^- + H^+ \rightleftharpoons C_6H_8O_6$
H_3O^+	H_2O	H_3O^+/H_2O	$H_2O + H^+ \rightleftharpoons H_3O^+$

④ Les indicateurs colorés

Un indicateur coloré est un couple acide/base, dont la forme acide HIn n'a pas la même teinte que de la forme basique In^- .

Le couple acido-basique associé à un indicateur coloré est : HIn/In^- .

❖ Exemples

Indicateur coloré	couleur de base In^-	Couleur de l'acide HIn
Bleu de bromothymol	Bleu	Jaune
Rouge de crésol	rouge	Jaune
Hélianthine	Jaune	Rouge
Phénophthaléine	Rose	Incolore

II Les réactions acido-basiques

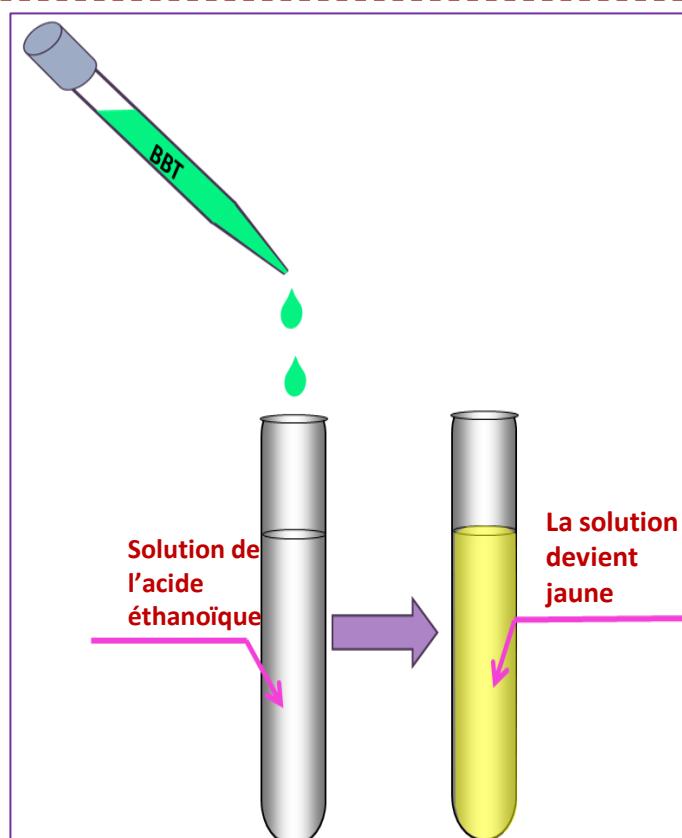
① Activité

❖ Manipulation 1

On introduit quelques gouttes de bleu de bromothymol (**BBT**) dans un tube à essai

(A) contenant une solution de l'acide éthanoïque solution CH_3COOH

- ① Quelle couleur prend la solution ?
quel est le type chimique responsable de cette couleur?
- ② Écrire l'équation de la réaction chimique qui se produit dans le tube (A) après avoir ajouté les gouttes de **BBT** .
- ③ Que se passe-t-il lors de cette réaction?
 - ① La solution du tube devient jaune après avoir ajouté les gouttes de l'indicateur dans le tube .



L'espèce responsable de la couleur jaune dans la solution est la forme acide HIn de l'indicateur coloré.

- ② La réaction qui se produit dans le tube (A) conduit à la formation d'acide HIn de l'indicateur coloré selon l'équation suivante : $CH_3COOH + In^- \rightarrow CH_3COO^- + HIn$
- ③ Lors de cette réaction, il se produit un transfert d'un proton H^+ en l'acide éthanoïque CH_3COOH et la base In^- de l'indicateur coloré.

❖ Manipulation 2

On introduit quelques gouttes de bleu de bromothymol (BBT) dans un tube à essai (B) contenant une solution de l'ammoniac (une base) de formule chimique NH_3

- ④ Quelle couleur prend la solution ? quel est le type chimique responsable de cette couleur?

- ⑤ Écrire l'équation de la réaction chimique qui se produit dans le tube (B) après avoir ajouté les gouttes de BBT .

- ⑥ Que se passe-t-il lors de cette réaction?

- ⑦ La réaction qui se produit dans les deux tubes à essai après avoir ajouté le BBT est appelée réaction acido-basique. Proposer une définition appropriée

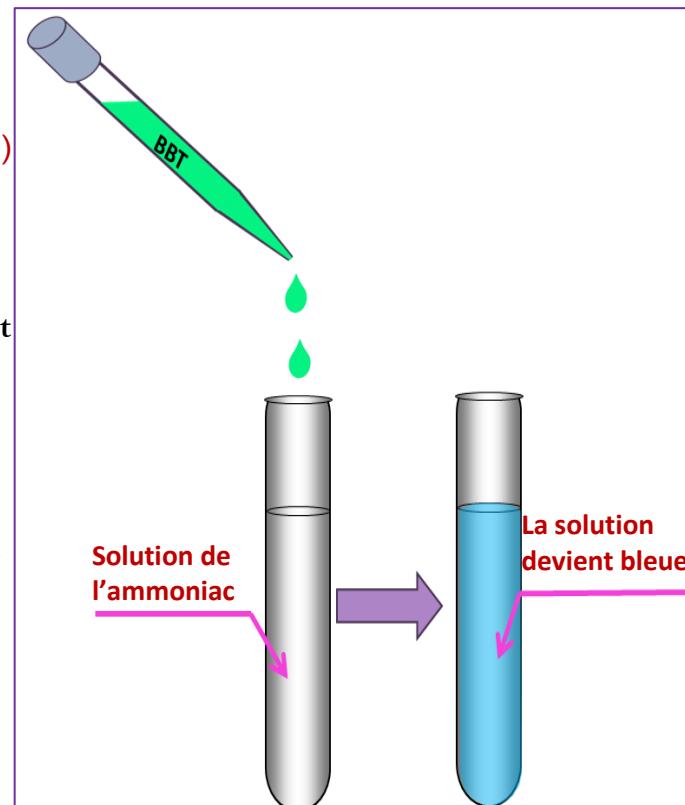
- ④ La solution du tube (B) devient bleue après avoir ajouté les gouttes de l'indicateur dans le tube

L'espèce responsable de la couleur bleue dans la solution est la forme acide In^- de l'indicateur coloré.

- ⑤ La réaction qui se produit dans le tube (B) conduit à la formation de la base In^- de l'indicateur coloré selon l'équation suivante : $NH_3 + HIn \rightarrow NH_4^+ + In^-$

- ⑥ Lors de cette réaction, il se produit un transfert d'un proton H^+ en l'acide l'ammoniac NH_3 et l'acide HIn de l'indicateur coloré.

- ⑦ La transformation acido-basique est une transformation chimique qui intervenir un transfert d'un proton H^+ entre un acide et une base de deux couples acidobasique différents.



② Conclusion

- La réaction acidobasique : est une transformation chimique qui fait intervenir un échange d'un proton H^+ entre l'acide HA_1 d'un couple HA_1/A_1^- et la base A_2^- d'un autre couple HA_2/A_2^- selon l'équation suivante :
 - Demi-équation du couple HA_1/A_1^- : $HA_1 \rightleftharpoons A_1^- + H^+$
 - Demi-équation du couple HA_2/A_2^- : $A_2^- + H^+ \rightleftharpoons HA_2$
 - Équation bilan : $HA_1 + A_2^- \rightleftharpoons A_1^- + HA_2$

❖ Application

- Écrire l'équation de la réaction acido-basique qui se produit entre l'acide méthanoïque $HCOOH$ et les ions hydroxyde HO^-
- Écrire l'équation de la réaction acido-basique qui se produit entre l'acide éthanoïque CH_3COOH et l'eau H_2O .

- 1 Déterminons l'équation de la réaction acido-basique de l'acide méthanoïque et les ions hydroxyde

La demi-équation du couple $HCOOH / HCOO^-$ est : $HCOOH \rightleftharpoons HCOO^- + H^+$

La demi-équation du couple H_2O / HO^- est : $HO^- + H^+ \rightleftharpoons H_2O$

L'équation bilan de la réaction est : $HCOOH + HO^- \rightarrow HCOO^- + H_2O$

- 2 Déterminons l'équation de la réaction acido-basique entre l'acide éthanoïque et l'eau

La demi-équation du couple : CH_3COOH / CH_3COO^- est : $CH_3COOH \rightleftharpoons CH_3COO^- + H^+$

La demi-équation du couple : H_3O^+ / H_2O est : $H_2O + H^+ \rightleftharpoons H_3O^+$

L'équation bilan de la réaction est : $CH_3COOH + H_2O \rightarrow CH_3COO^- + H_3O^+$

Série d'exercices

Exercice 1

① Répondre par vrai ou faux

- Au cours d'une réaction acido-basique, l'acide capte un proton H^+
- Une réaction acido-basique se produit entre un acide HA et sa base conjuguée A^-
- La base conjuguée de l'acide ascorbique $C_6H_8O_6$ est l'ion ascorbate $C_6H_7O_6^-$
- L'ampholyte est une espèce chimique qui se comporte comme un acide dans un couple et comme une base dans un autre couple, selon les conditions expérimentales.

Exercice 2

① Compléter le tableau ci-dessous

Acide	Base	Couple HA/A^-	Demi-équation $A^- + H^+ \rightleftharpoons HA$
		$C_6H_5COOH/C_6H_5COO^-$	
H_2S	HS^-		
			$NO_3^- + H^+ \rightleftharpoons HNO_3$
			$HCOO^- + H^+ \rightleftharpoons HCOOH$
$C_2H_5NH_3^+$			
	CN^-	CN^-	

Exercice 3

- ① Écrire l'équation de la réaction acido-basique entre l'acide ascorbique $C_6H_8O_6$ et la méthylamine CH_3NH_2
- ② Écrire l'équation de la réaction acido-basique entre les ions hydrogénocarbonate HCO_3^- et les ions hydroxyde HO^- .

Exercice 4

Le benzoate de sodium est un conservateur alimentaire (E211) sa formule chimique est $C_6H_5CO_2Na$. En solution aqueuse, il se dissocie en ions sodium et ions benzoate $C_6H_5CO_2^-$

- ① Donner la formule chimique de l'acide conjugué de l'ion benzoate .
- ② On mélange une solution de benzoate de sodium avec une solution de l'acide méthanoïque $HCOOH$. Écrire l'équation de la réaction acido-basique qui se produit dans le mélange .

Série d'exercices

Exercice 5

On mélange un volume $V = 50\text{mL}$ d'une solution (S) de l'acide méthanoïque HCOOH de concentration $C = 1,5 \times 10^{-2} \cdot \text{mol.L}^{-1}$, avec un volume $V' = 40\text{mL}$ d'une solution (S') d'hydroxyde de sodium ($\text{Na}^+ + \text{HO}^-$) de concentration $C' = 2 \times 10^{-2} \cdot \text{mol.L}^{-1}$. Une réaction acido-basique se produit entre l'acide méthanoïque HCOOH et les ions hydroxyde HO^-

- ① Calculer les quantités de matières initiales des réactifs.
- ② Déterminer les couples acido-basiques intervenant dans la réaction qui se produit dans le mélange .
- ③ Écrire l'équation de la réaction acido-basique qui se produit dans le mélange .
- ④ Construire le tableau d'avancement associé à cette réaction.
- ⑤ Déterminer le réactif limitant et l'avancement maximal de cette réaction.
- ⑥ Calculer le bilan de la quantité de matière à l'état final.

Exercice 6

L'acide méthanoïque (appelé aussi acide formique) est le plus simple des acides carboxyliques, sa formule chimique est HCOOH , sa base conjuguée est l'ion méthanoate.

I-Préparation d'une solution de l'acide méthanoïque .

On prépare une solution aqueuse (S) de l'acide méthanoïque de concentration C_A , et de volume $V = 100\text{mL}$, en dissolvant une masse $m = 92\text{mg}$ de l'acide méthanoïque HCOOH dans l'eau distillée.

- ① Calculer la quantité de matière de l'acide méthanoïque dissoute dans la solution (S)
- ② Calculer la concentration molaire de la solution (S).
- ③ Donner la formule chimique de l'ion méthanoate (la base conjuguée de l'acide méthanoïque)

II-Étude de la réaction de l'acide méthanoïque et les ions d'hydroxyde .

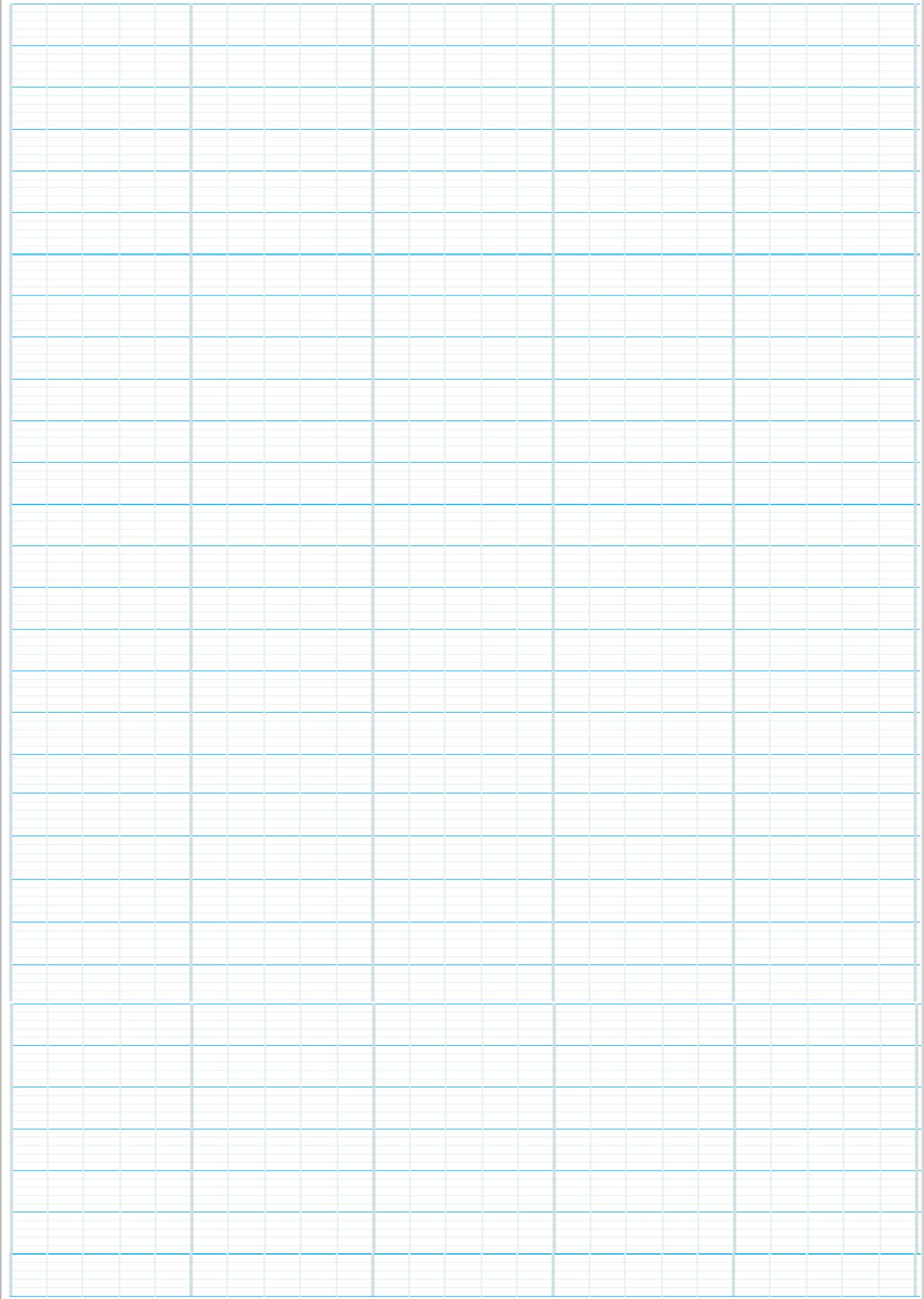
On fait diluer la solution (S) et on obtient une solution (S_A) d l'acide méthanoïque de concentration C_A .

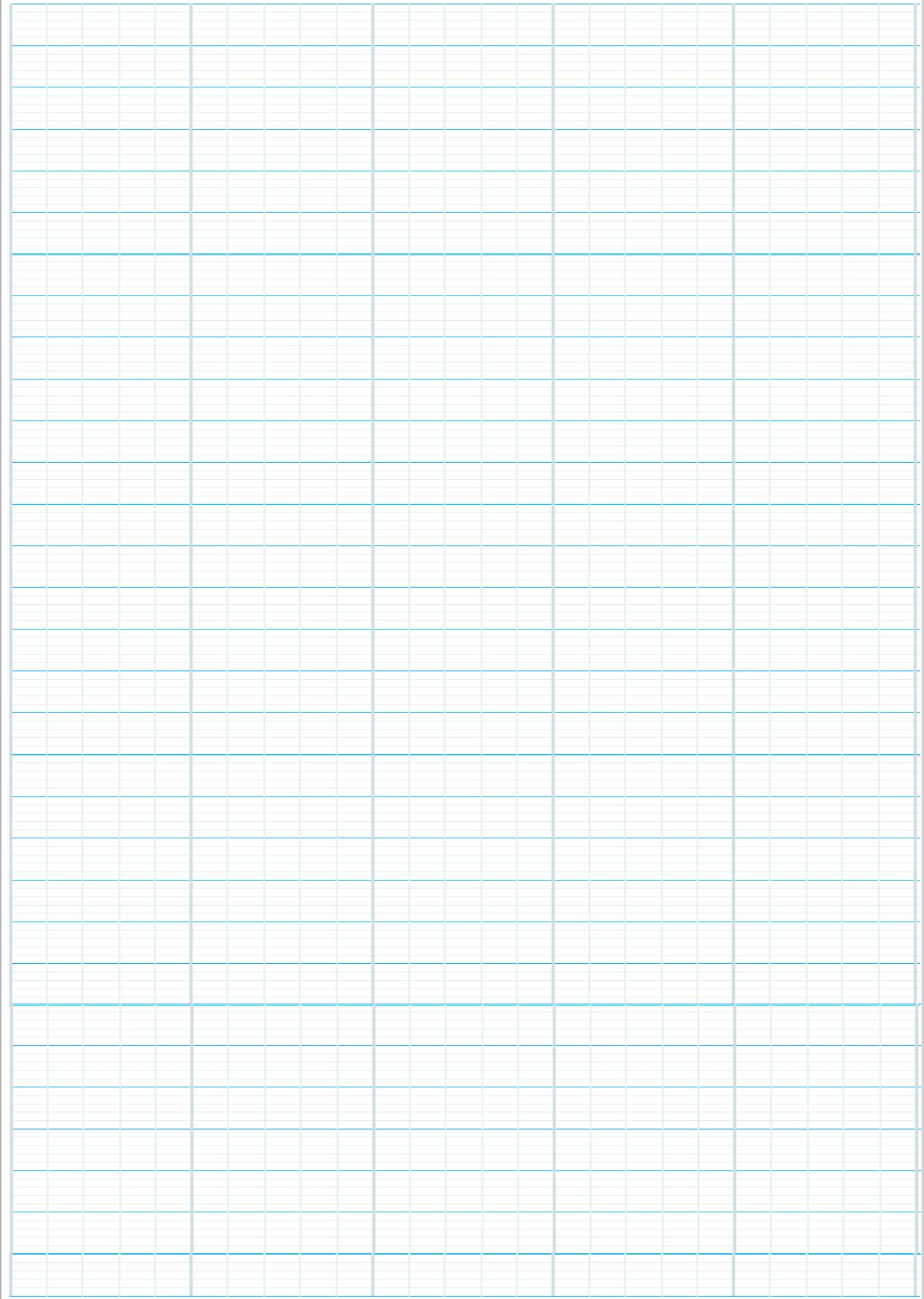
On mélange un volume $V_A = 20\text{ml}$ la solution (S_A) avec une solution (S_B) d'hydroxyde de sodium ($\text{Na}_{(aq)}^+ + \text{HO}_{(aq)}^-$) de concentration $C_B = 3 \times 10^{-3} \cdot \text{mol.L}^{-1}$ et de volume $V_B = 50\text{mL}$

- ① Calculer la quantité de la matière des ions d'hydroxyde $\text{HO}_{(aq)}^-$ dans la solution (S_B) .
- ② Écrire l'équation de la réaction acido-basique modélisant l'action des ions hydroxyde sur l'acide méthanoïque
- ③ Construire le tableau d'avancement de cette réaction en fonction de C_A , C_B , V_A , V_B , x et l'avancement maximal x_{max}
- ④ La mesure de la conductivité du mélange à l'état final donne la valeur : $\sigma_f = 45,12 \text{mS.m}^{-1}$
 - a -Montrer que la conductivité du mélange à l'état final s'écrit sous la forme suivante :
$$\sigma_f = 5,34 \times 10^{-2} - 2,07 \times 10^2 \cdot x_{max}$$
 - b -Calculer l'avancement final de cette réaction.
 - c -Calculer la quantité de matière final des ions hydroxyde $\text{HO}_{(aq)}^-$ dans le mélange et déduire le réactif limitant de cette réaction.
 - d -Calculer la concentration C_A de la solution (S_A) et déduire le coefficient de dilution.

Données :Les conductivités molaires ioniques : $\lambda_{\text{HO}^-} = 19,92 \text{mS.m}^2.\text{mol}^{-1}$;

$\lambda_{\text{Na}^+} = 5,01 \text{ mS.m}^2.\text{mol}^{-1}$; $\lambda_{\text{HCOO}^-} = 5,46 \text{ mS.m}^2.\text{mol}^{-1}$





Réactions d'oxydo-réductions



Situation-problème

La formation de rouille sur les structures en fer est due à l'oxydation du fer dans les marais humides. Cette transformation chimique est appelée réaction d'oxydoréduction.

- 💡 Qu'est-ce qu'un oxydant ? Et qu'est-ce qu'un réducteur ?
- 💡 Qu'est-ce qu'une réaction d'oxydoréduction ?

Objectifs

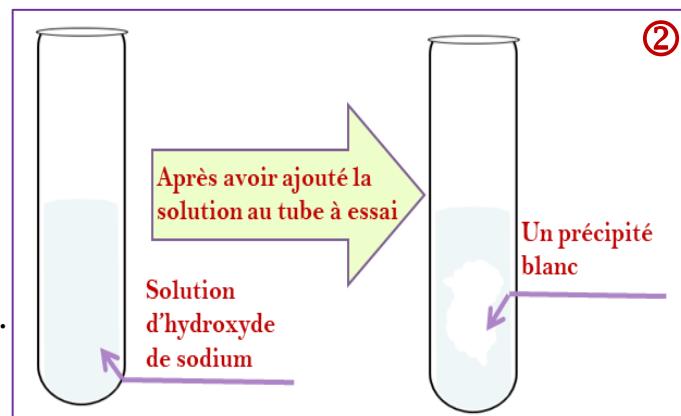
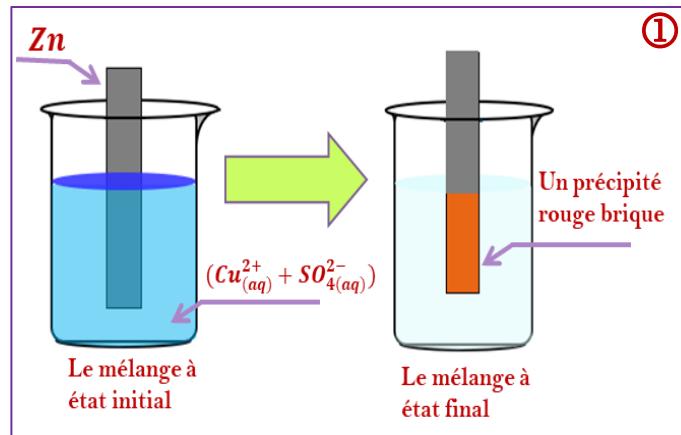
- 💡 Définir l'oxydant et le réducteur.
- 💡 Connaître le couple oxydoréduction et sa semi-équation associée.
- 💡 Définir la réaction d'oxydoréduction et savoir écrire son équation.
- 💡 Savoir équilibrer une demi-équation d'oxydo-réduction .

I

La réaction d'oxydo-réduction

① Activité

On introduit une plaque de Zinc dans un bêcher contenant une solution de sulfate de cuivre II ($Cu^{2+}_{(aq)} + SO_4^{2-}_{(aq)}$) de couleur bleu (voir la figure ①). Lorsque la transformation est déminée, on verse un peu de la solution du bêcher dans un tube à essai contenant une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium ($Na^+_{(aq)} + HO^-_{(aq)}$), et on remarque la formation d'un précipité blanc (voir la figure ②).



- ① Déterminer les espèces chimiques présentes dans le mélange à l'état initial.
- ② Quel est l'espèce chimique responsable de la couleur bleue dans le bêcher ?
- ③ Quel est le dépôt rouge qui se dispose sur la plaque de Zinc ?
- ④ Quel est le nom du précipité blanc formé dans le tube à essai après avoir ajouté une quantité de la solution contenant le bêcher ? Que montre ce teste ?
- ⑤ Déduire les espèces chimiques présentes dans le mélange du bêcher à l'état final .
- ⑥ Ecrire la demi-équation qui conduit à la formation de cuivre Cu .
- ⑦ Écrire la demi-équation qui conduit à la formation des ions de Zinc $Zn^{2+}_{(aq)}$
- ⑧ Écrire l'équation de la réaction chimique qui se produit dans le mélange du bêcher , déterminant particules échangées entre les réactifs .
- ⑨ Cette transformation est appelée réaction d'oxydoréduction . proposer une définition appropriée pour celle-ci .

- ① Les espèces chimiques présentes dans le mélange à l'état initial sont :

Le zinc métallique Zn ; les ions de cuivre $Cu^{2+}_{(aq)}$; les ions de sulfate $SO_4^{2-}_{(aq)}$

- ② L'espèce chimique responsable de la couleur bleue dans le bêcher est l'ion de cuivre $Cu^{2+}_{(aq)}$.

- ③ Le dépôt rouge brique qui se dispose sur la plaque de Zinc est le cuivre métallique **Cu** .
- ④ Le précipité blanc formé dans le tube à essai après avoir ajouté une quantité de la solution contenant le bécher est l'hydroxyde de zinc II de formule **Zn(HO)₂**. Ce test montre que la solution du bécher contient les ions de zinc **Zn²⁺_(aq)**
- ⑤ Les espèces chimiques présentes dans le mélange du bécher à l'état final sont : Le zinc métallique **Zn** ; le cuivre métallique ; les ions de zinc **Zn²⁺_(aq)** ; les ions de sulfate **SO₄²⁻_(aq)**
- ⑥ La demi-équation qui conduit à la formation de cuivre **Cu** est : **Cu²⁺_(aq) + 2e⁻ → Cu_(s)**
- ⑦ La demi-équation qui conduit à la formation des ions **Zn²⁺_(aq)** est : **Zn_(s) → Zn²⁺_(aq) + 2e⁻**
- ⑧ L'équation de la réaction chimique qui se produit dans le mélange du bécher est : **Zn_(s) + Cu²⁺_(aq) → Zn²⁺_(aq) + Cu_(s)**
- Lors de cette réaction, il se produit un transfert d'électrons entre **Zn_(s)** et **Cu²⁺_(aq)**
- ⑨ La réaction d'oxydo-réduction est une transformation chimique qui fait intervenir un transfert d'électrons entre les espèces chimiques.

② Définitions

- **L'oxydant** noté **ox** est une espèce chimique susceptible d'acquérir des électrons lors d'une transformation chimique . Exemples : **Cu²⁺_(aq) ; Al³⁺_(aq)**
- **Le réducteur** noté **red** est une espèce chimique susceptible de perdre des électrons lors d'une transformation chimique. Exemples : **Cu_(s) ; Ag_(s)**
- **L'oxydation** est une perte d'électrons par un réducteur selon la demi-équation suivante : **red ⇌ ox + ne⁻** . Exemple : **Al_(s) ⇌ Al³⁺_(aq) + 3e⁻**
- **La réduction** est un gain d'électrons par oxydant selon la demi-équation suivante : **ox + ne⁻ ⇌ red** . Exemple : **2H²⁺_(aq) + 2e⁻ ⇌ H_{2(g)}**

③ Le couple **ox/red**

- Les espèces chimiques (**Ox**) et (**red**) sont conjugués et forment un couple Ox/red s'il est possible de passer d'une espèce chimique à l'autre en gagnant ou en perdant des électrons selon la demi-équation suivante : **Ox + ne⁻ ⇌ red**
- Exemples : **Ag⁺_(aq)/Ag_(s) ; Cu²⁺_(aq)/Cu_(s) ; H⁺_(aq)/H_{2(g)}**

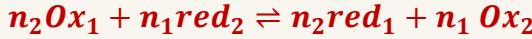
④ L'équation de la réaction d'oxydoréduction

- **La réaction d'oxydoréduction:** est une transformation chimique qui fait intervenir un échange des électrons entre l'oxydant ***Ox₁*** d'un couple ***Ox₁/red₁*** et le réducteur ***red₂*** d'un autre couple ***Ox₂/red₂*** selon l'équation suivante :

- Demi-équation de réduction : (***Ox₁+n₁e⁻ ⇌ red₁***) × ***n₂***

- Demi-équation d'oxydation : (***red₂ ⇌ Ox₂+n₁e⁻***) × ***n₁***

- Équation bilan :

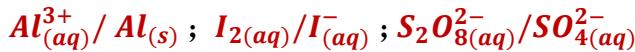


❖ Remarque

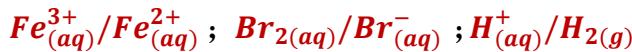
- Au cours de la réaction d'oxydo-réduction les électrons sont transmis directement du réducteur à l'oxydant (les électrons ne se trouvent dans la solution)
- Dans la demi-équation d'oxydo-réduction, les électrons se trouvent toujours à côté de l'oxydant.

❖ Application

- ➊ Écrire la demi-équation d'oxydation pour chacun des couples suivants:

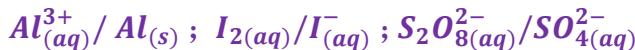
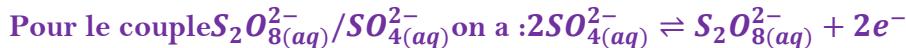
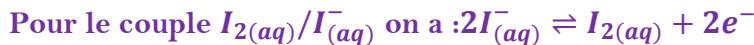
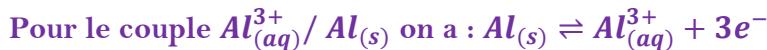


- ➋ Écrire la demi-équation de réduction pour chacun des couples suivants:

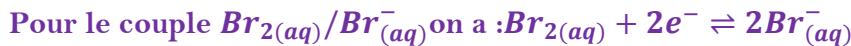
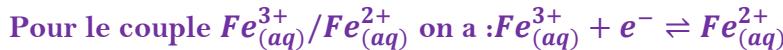


- ➌ Écrire l'équation de la réaction d'oxydoréduction qui se produit entre les ions ***H⁺_{(aq}*** et l'aluminium ***Al_{(s}***)

- ➍ Les demi-équations d'oxydation :



- ➎ Les demi-équations de réduction :



- ➏ L'équation de la réaction d'oxydoréduction qui se produit entre les ions ***H⁺_{(aq}*** et l'aluminium ***Al_{(s}***)



④ Équilibre d'une demi-équation d'oxydoréduction dans un milieu acide

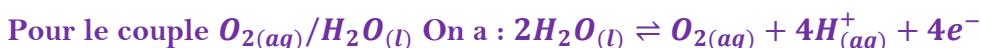
Pour établir une demi-équation d'oxydoréduction dans un milieu acide, nous suivons les étapes suivantes :

- Équilibrer tous les atomes autres que l'oxygène O et l'hydrogène H.
- Équilibrer les atomes d'oxygène O en ajoutant des molécules d'eau H_2O .
- Équilibrer les atomes d'hydrogène H en ajoutant des protons H^+ .
- Équilibrer la charge électrique en ajoutant des électrons.

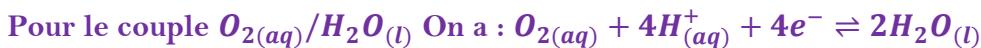
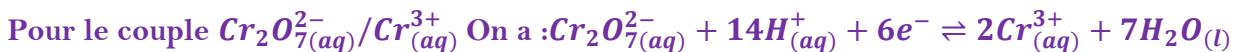
❖ Application

- ① Écrire la demi-équation d'oxydation dans un milieu acide pour chacun des couples suivants: MnO_4^-/Mn^{2+} ; $CO_2(aq)/H_2C_2O_4(aq)$
- ② Écrire la demi-équation de réduction un milieu acide pour chacun des couples suivants: $Cr_2O_7^{2-}/Cr^{3+}$; $O_2(aq)/H_2O(l)$
- ③ Écrire l'équation de la réaction d'oxydoréduction qui se produit entre les ions $Cr_2O_7^{2-}$ et l'acide oxalique $H_2C_2O_4(aq)$

① La demi-équation d'oxydation dans un milieu acide:

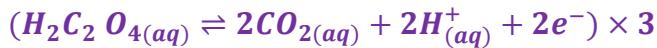


② La demi-équation de réduction un milieu acide :



③ L'équation de la réaction d'oxydoréduction qui se produit entre les ions $Cr_2O_7^{2-}$

et l'acide oxalique $H_2C_2O_4(aq)$:



Série d'exercices

Exercice 1

① Répondre par vrai ou faux

- Lors d'une réaction d'oxydoréduction, le réducteur capte des électrons.
- La réduction est une transformation chimique qui conduit la formation d'un réducteur.
- La réaction d'oxydoréduction est une transformation chimique qui fait l'intervenir un échange des protons entre l'oxydant d'un couple et le réducteur d'un autre couple.
- Lors de l'oxydation, il se consomme un oxydant.

Exercice 2

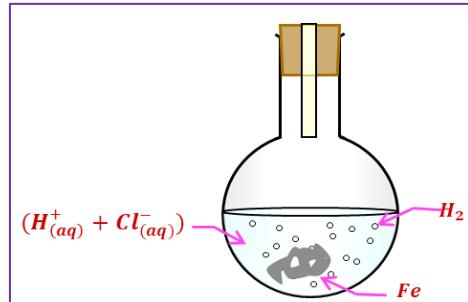
① Compléter le tableau ci-dessous

Oxydant	réducteur	Couple ox/red	Demi-équation $ox + ne^- \rightleftharpoons red$
Au^{3+}	Au		
		Cl_2/Cl^-	
		Ag^+/Ag	$Ag^+ + e^- \rightleftharpoons Ag$
Fe^{3+}	Fe^{2+}		
		H_2O_2/H_2O	$H_2O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightleftharpoons 2H_2O$
		NO_3^-/N_2 (en milieu acide)	

Exercice 4

On introduit un morceau de fer de masse $m = 2,79\text{g}$ dans un ballon contenant un volume $V = 50\text{ml}$ d'une solution de l'acide chlorhydrique ($H_{(aq)}^+ + Cl_{(aq)}^-$) de concentration $C = 4 \times 10^{-1}\text{mol.L}^{-1}$. Lors de cette réaction il se produit les ions ferreux $Fe_{(aq)}^{2+}$ et le dihydrogène gazeux $H_2(g)$. Les couples oxydoréductions mis en jeu sont: H^+/H_2 et Fe^{2+}/Fe .

- ① Déterminer les réactifs et les produits de cette réaction.
- ② Calculer les quantités de matières initiales des réactifs.
- ③ Écrire la demi-équation d'oxydoréduction associée à chaque couple et déduire l'équation bilan.
- ④ Construire le tableau d'avancement de cette réaction .
- ⑤ Déterminer le réactif limitant de cette réaction et la valeur de son avancement maximal.
- ⑥ Calculer le volume de dihydrogène formé à la fin de cette réaction.



Données : La masse molaire de fer: $M(Fe) = 55,8\text{g.mol}^{-1}$
Le volume molaire dans les conditions de l'expérience : $V_m = 24\text{L.mol}^{-1}$

Série d'exercices

Exercice 4

On introduit une plaque mince d'aluminium Al de masse $m = 4,05$ dans un bécher contenant un volume $V = 100mL$ d'une solution aqueuse de sulfate de cuivre

$(Cu^{2+}_{(aq)} + SO_4^{2-}_{(aq)})$ de concentration $C = 0,9mol \cdot L^{-1}$. Il se produit une transformation chimique conduit à la formation du cuivre métallique Cu et des ions d'aluminium $Al^{3+}_{(aq)}$

- ① Déterminer les réactifs et les produits et déduire les couples mis en jeu lors de cette transformation chimique.
- ② Écrire l'équation de la réaction d'oxydoréduction qui se produit dans le bécher.
- ③ Calculer les quantités de matière initiales des réactifs .
- ④ Construire le tableau d'avancement associé à cette réaction .
- ⑤ Déterminer le réactif limitant et l'avancement maximal de cette réaction.
- ⑥ Calculer la composition du système à l'état final.
- ⑦ Calculer la masse du cuivre produite à l'état final.
- ⑧ Calculer la masse d'aluminium restante à l'état final.

Données : La masse molaire de cuivre: $M(Cu) = 63,5g \cdot mol^{-1}$

La masse molaire d'aluminium: $M(Al) = 27g \cdot mol^{-1}$

Exercice 5

On mélange dans un erlenmeyer un volume $V_1 = 100,0mL$ d'une solution (S_1) de l'eau oxygénée $H_2O_{2(aq)}$ (solution aqueuse de peroxyde d'hydrogène), de concentration

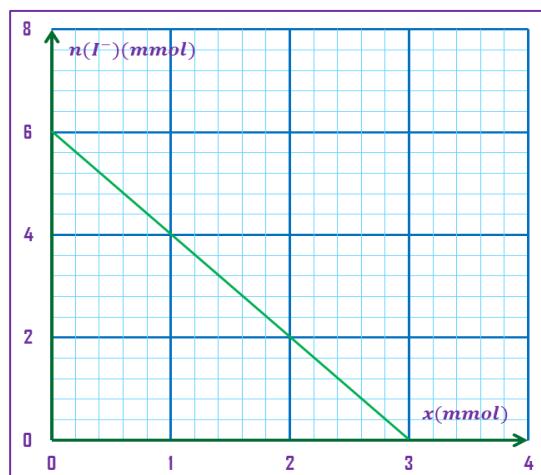
$C_1 = 4 \times 10^{-2} mol \cdot L^{-1}$ avec un volume $V_2 = 50,0mL$ d'une solution (S_2) d'iodure de potassium $(K^+_{(aq)} + I^-_{(aq)})$, de concentration C_2 et quelques gouttes de l'acide sulfurique concentré. L'équation de la réaction est : $H_2O_{2(aq)} + 2I^-_{(aq)} + 2H^+_{(aq)} \rightarrow I_2_{(aq)} + 2H_2O_{(l)}$

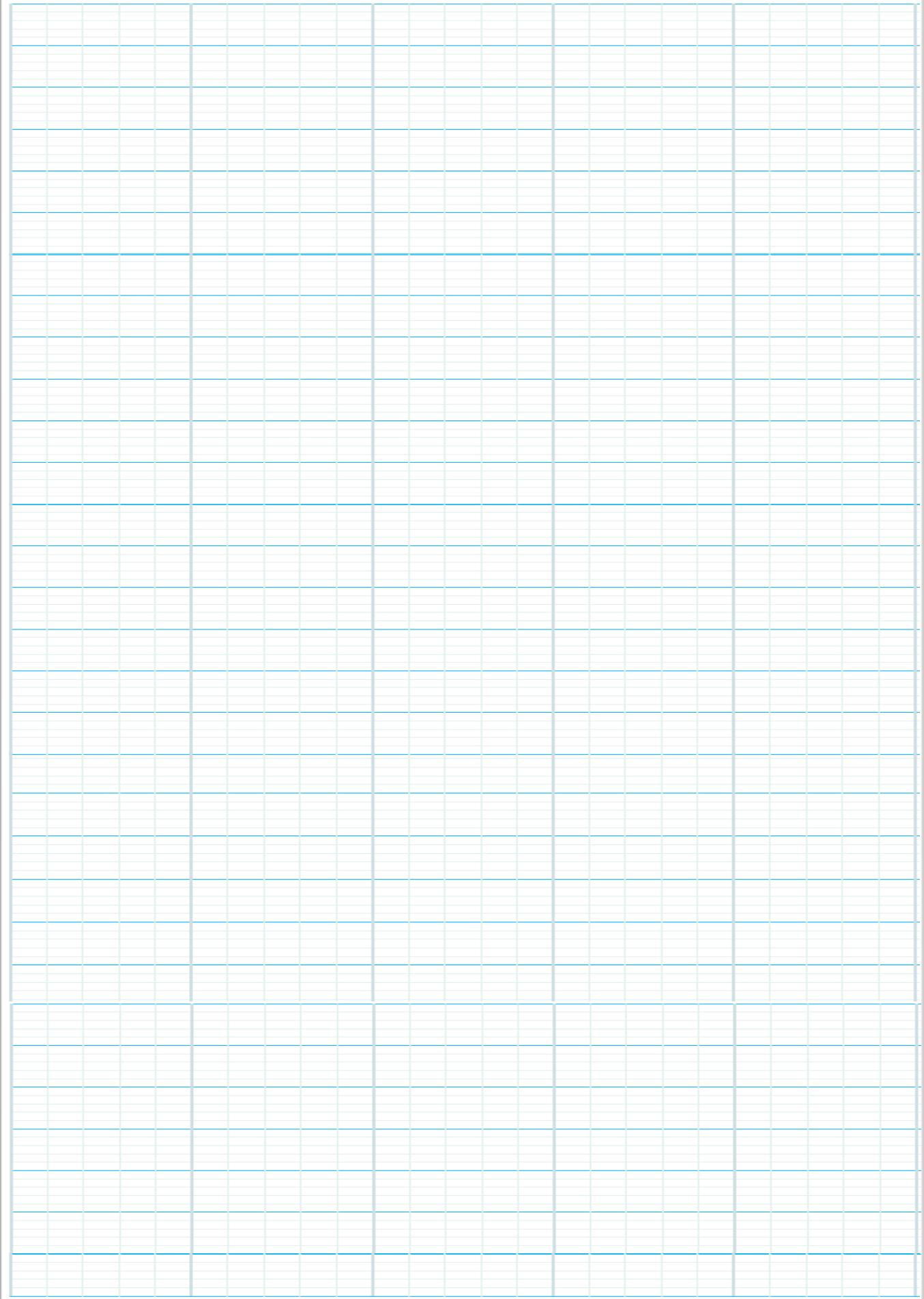
- ① Pourquoi on ajoute des gouttes de l'acide sulfurique concernée au mélange au début de l'expérience ?
- ② Déterminer les demi-équations d'oxydoréduction et déduire les couples mis en jeu lors de cette transformation.
- ③ Construire le tableau d'avancement associé à cette réaction en fonction de C_1, V_1, C_2, V_2, x et x_{max}

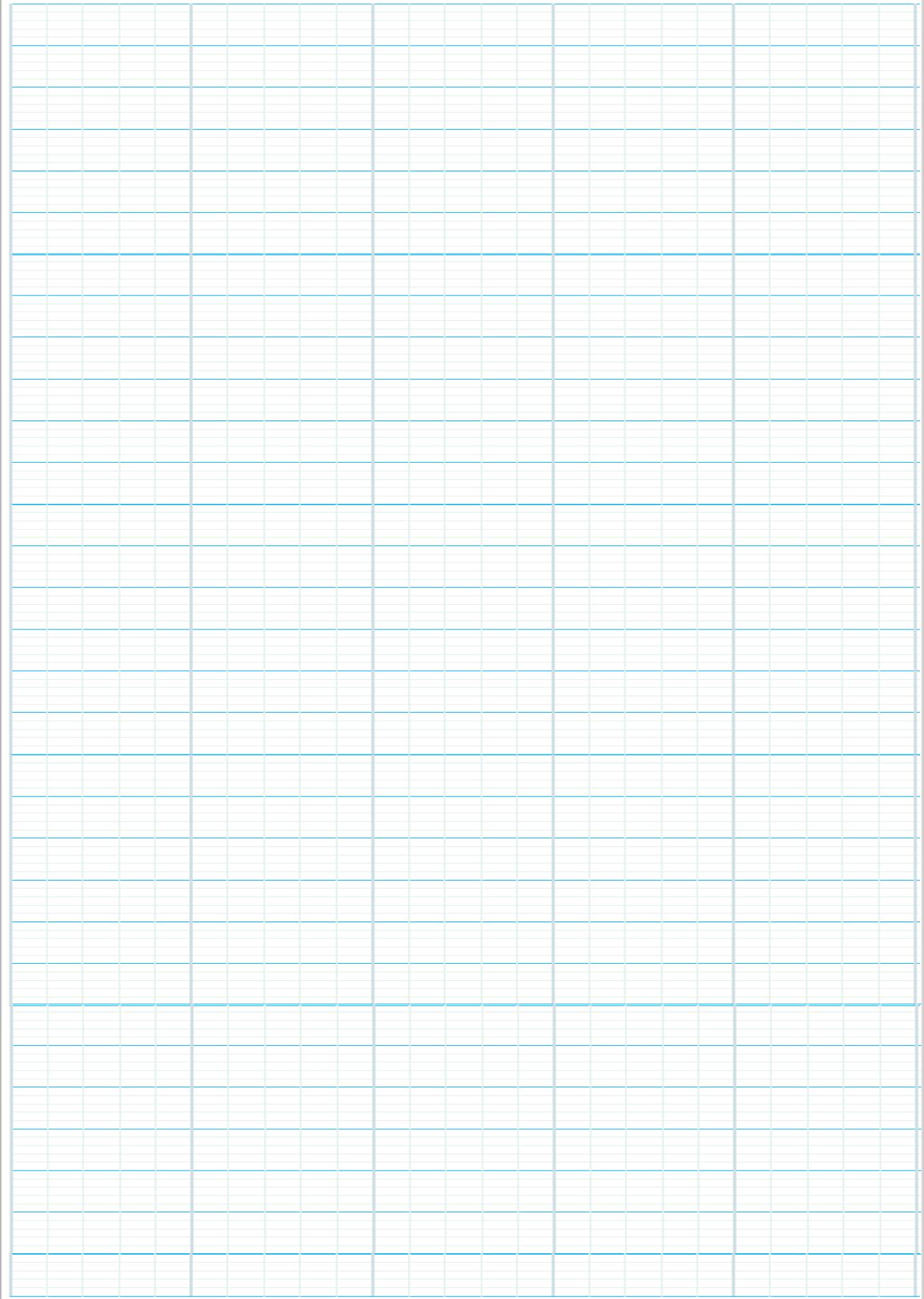
- ④ La courbe ci-contre représente l'évolution de la quantité de matière des ions d'iodure $I^-_{(aq)}$ en fonction de l'avancement x . Exploitant cette courbe déterminer :

- a - La quantité de matière initiale des ions d'iodures $I^-_{(aq)}$ dans le mélange
- b - L'avancement maximal de la réaction
- c - Le réactif limitant de cette réaction .
- b - La concentration de la solution (S_2)

- ⑤ Calculer la quantité de matière de la diode $I_2_{(aq)}$ formée à la fin de la réaction.







Dosages directs



Situation-problème

Parmi les méthodes adoptées pour vérifier la qualité et la pureté de l'eau potable, il existe une méthode qui permet de déterminer les concentrations de certaines espèces chimiques présentes dans celle-ci en se basant sur des réactions acido-basiques et des réactions d'oxydoréduction. Cette méthode est appelée : le dosage direct

- 💡 Qu'est-ce que le dosage ? Quels sont ses types ? Et quelles sont ses Caractéristique ?
- 💡 Comment déterminer la concentration d'une espèce chimique en étudiant la réaction de titrage ?

Objectifs

- 💡 Définir le dosage et connaître ces caractéristiques .
- 💡 Établir la relation d'équivalence et savoir l'exploiter pour déterminer la concentration d'une espèce chimique dans une solution.
- 💡 Savoir réaliser un dosage conductimétrique.
- 💡 Savoir réaliser un dosage colorimétrique.

① Définition

- Le dosage est une technique qui vise à déterminer la concentration d'une espèce chimique appelé titrée en étudiant sa réaction avec une autre espèce chimique appelée titrant (réactif de concentration connue).

Exemple : le dosage du cholestérol dans le sang

La réaction du dosage doit satisfaire à trois conditions suivantes:

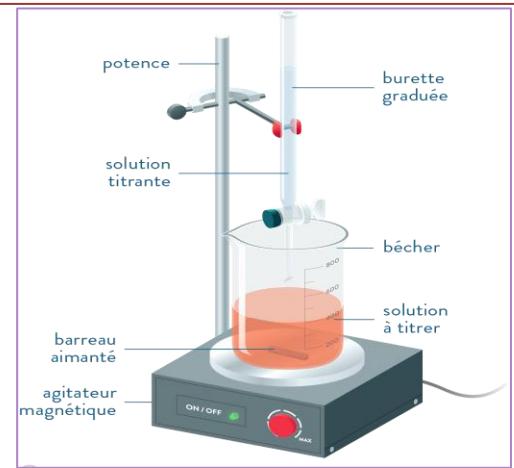
- Elle doit être rapide : atteint son état final plus rapidement
- Elle doit être unique : elle ne doit pas être en composition avec d'autres réactions)
- Elle doit être totale : le réactif limitant se consomme complètement.

② Déroulement du dosage

❖ Le montage du dosage :

Le montage du dosage est composé des éléments suivants:

- Un dispositif d'agitation: agitateur magnétique et un barreau aimanté
- Un bêcher dans laquelle on met la solution titrée.
- Une burette graduée dans laquelle on met la solution titrant
- Un support pour fixer la burette .



❖ Mode opératoire d'un dosage

Pour titrer une espèce chimique dans une solution aqueuse, on prélève par pro-pipete un échantillon de cette solution et on l'introduit dans un bêcher . Après avoir fonctionné l'agitateur magnétique, on y ajoute progressivement la solution titrant à l'aide de la burette graduée .

Il se produit alors une réaction chimique entre le titrée et le titrant, qui peut être une réaction acide-base ou une réaction d'oxydoréduction.

③ L'équivalence

❖ Notion d'équivalence

- Au début et avant l'équivalence, le titrant est le réactif limitant (car il se consomme totalement dès qu'on l'introduit dans le bécher).
- On continue à ajouter progressivement la solution titrante dans le bécher jusqu'à ce que le titré soit complètement consommé, à ce moment, le mélange devient stoechiométrique et l'équivalence est atteint.
- Après l'équivalence, le titré est le réactif limitant.

❖ Repérage de l'équivalence

Le point d'équivalence peut être repérer par l'une des méthodes suivantes:

- Par le changement brusque de la couleur du mélange (cas des réactions d'oxydoréductions)
- Par le changement brusque de la couleur d'un indicateur coloré (cas des réactions acido-basiques).
- Par le traçage de la courbe de la variation d'une grandeur physique (dosage conductimétrique ou pH-métrique).

❖ La relation d'équivalence

- On considère l'équation modélisant la réaction du dosage du titré (A) par un titrant (B) :
$$Aa + bB \rightarrow cC + dD$$
- Le tableau d'avancement associé à cette réaction à l'état d'équivalence est:

Équation		aA	+	bB	→	cC	+	dD
État	Avancement	Les quantités de matière en mole (mol)						
Initial	0	$C_A \cdot V_A$		$C_B \cdot V_B$		0	0	
Intermédiaire	x	$C_A \cdot V_A - ax$		$C_B \cdot V_B - bx$		cx	dx	
Équivalence	x_E	$C_A \cdot V_A - ax_E$		$C_B \cdot V_{BE} - bx_E$		cx_E	dx_E	

- À l'équivalence les réactifs titré et titrant sont totalement consommés, donc on aura :
$$\begin{cases} C_A \cdot V_A - ax_E = 0 \\ C_B \cdot V_{BE} - bx_E = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} x_E = \frac{C_A \cdot V_A}{a} & ① \\ x_E = \frac{C_B \cdot V_{BE}}{b} & ② \end{cases}$$
- D'après les deux équations ① et ② on trouve : $\frac{C_A \cdot V_A}{a} = \frac{C_B \cdot V_{BE}}{b}$ cette relation est appelée la relation d'équivalence

II Réalisation d'un dosage direct

① Dosage conductimétrique

❖ Activité

- À l'aide d'une pipette jaugée on prélève un volume $V_A = 20\text{mL}$ d'une solution de l'acide chlorhydrique ($\text{H}_3\text{O}_{(aq)}^+$ + $\text{Cl}_{(aq)}^-$) de concentration C_A (inconnue), puis on l'introduit dans un bécher et on le met sur l'agitateur magnétique.
- On remplit la burette d'une une solution d'hydroxyde de sodium ($\text{Na}_{(aq)}^+$ + $\text{HO}_{(aq)}^-$) de concentration $C_B = 5 \times 10^{-3}\text{mol.L}^{-1}$.
- On étalonne le conductimètre et on plonge sa sonde dans la solution du bécher .
- On fait fonctionner l'agitateur magnétique et on ajoute progressivement des volumes de la solution

de la burette et on mesure à chaque fois la conductivité σ du mélange à l'aide d'un conductimètre

- Les mesures effectuées ont permis de tracer la courbe ci-contre qui représente les variations de la conductivité du mélange en fonction du volume d'hydroxyde de sodium versé .

① Identifier la solution titrée et la solution titrante de ce dosage.

② Écrire l'équation de la réaction du dosage, en déterminant sa nature.

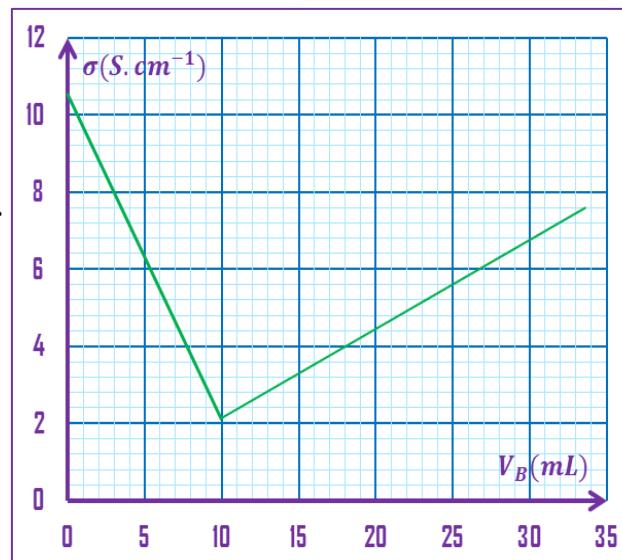
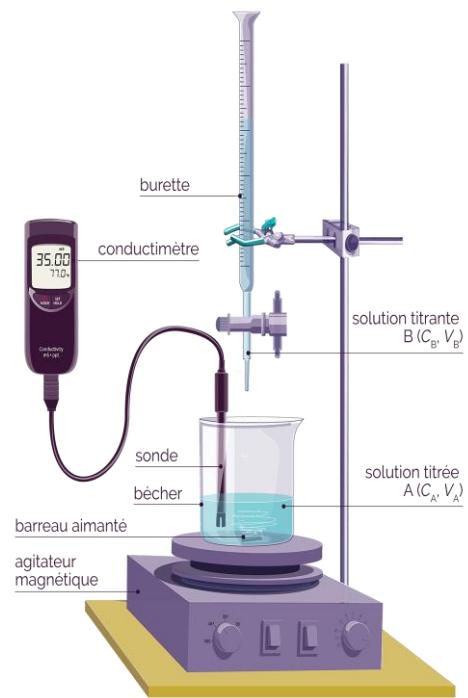
③ Déterminer les espèces chimiques responsables de la conductivité du mélange du bécher, en comparant leurs conductivités molaires ioniques:

④ Décrire la courbe $\sigma = f(V_B)$.

⑤ En exploitant la courbe, déterminer la concentration C_A de l'acide chlorhydrique.

Données: les conductivités molaires ioniques à 25°C en $\text{mS.m}^2.\text{mol}^{-1}$

$$\lambda_{\text{Na}^+} = 5,01; \lambda_{\text{Cl}^-} = 7,63; \lambda_{\text{HO}^-} = 19,9; \lambda_{\text{H}_3\text{O}^+} = 34,9.$$



① La solution titrée est celle de l'acide chlorhydrique ($H_3O_{(aq)}^+$ + $Cl_{(aq)}^-$) et la solution titrante est celle d'hydroxyde de sodium ($Na_{(aq)}^+$ + $HO_{(aq)}^-$).

② L'équation de la réaction du dosage : $H_3O_{(aq)}^+ + HO_{(aq)}^- \rightarrow 2H_2O_{(l)}$

C'est une réaction acido-basique

③ Les espèces chimiques responsables de la conductivité du mélange du

bécher sont les ions $H_3O_{(aq)}^+$, $Na_{(aq)}^+$, $HO_{(aq)}^-$, $Cl_{(aq)}^-$

On constate que les conductivités molaires ioniques des ions $Na_{(aq)}^+$ et $Cl_{(aq)}^-$ sont plus faibles que celles des ions $H_3O_{(aq)}^+$ et $HO_{(aq)}^-$

④ L'interprétation de la courbe $\sigma = f(V_B)$.

- Avant l'équivalence ($V_B < 10mL$), l'ajout des ions hydroxyde $HO_{(aq)}^-$ neutralise progressivement les ions oxonium $H_3O_{(aq)}^+$ présents en solution et qui sont remplacés par les ions $Na_{(aq)}^+$ qui ont une faible conductivité molaire. Ce qui entraîne une diminution de la conductivité du mélange.
- À l'équivalence ($V_{BE} = 10mL$), les ions hydroxyde $HO_{(aq)}^-$ et oxonium $H_3O_{(aq)}^+$ ont été consommés et donc la conductivité σ est due au ions $Cl_{(aq)}^-$ et $Na_{(aq)}^+$. La conductivité est alors minimale.
- Après l'équivalence ($V_B > 10mL$), les ions hydroxyde $HO_{(aq)}^-$ et $Na_{(aq)}^+$ rajoutés s'accumulent dans le mélange, ce qui entraîne une augmentation de la conductivité mélange

⑤ D'après la relation d'équivalence, on a : $C_A V_A = C_B V_{BE}$

$$\text{Donc : } C_A = \frac{C_B V_{BE}}{V_A}$$

$$\text{A.N : } C_A = \frac{5 \times 10^{-3} \times 10}{20}$$

$$\text{On trouve : } C_A = 2,5 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$$

❖ Conclusion

- Le dosage conductimétrique est une manipulation qui permet de déterminer la concentration inconnue de la solution titrée en se basant sur la courbe représentant les variations de la conductivité (ou la conductance) du mélange réactionnel.

② Dosage colorimétrique

❖ Activité

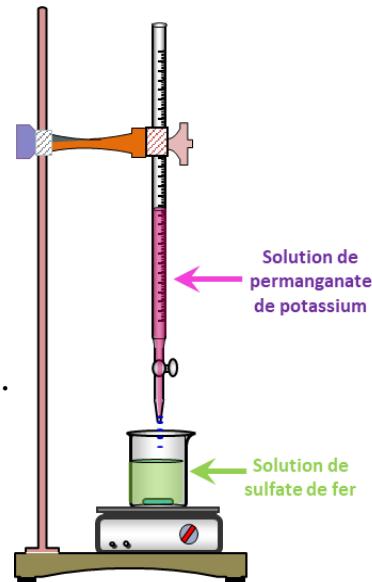
L'objectif de ce dosage est la détermination de la concentration C_1 d'une solution (S_1) de sulfate de fer ($Fe^{2+}_{(aq)} + SO_4^{2-}_{(aq)}$). Pour atteindre cet objectif, on dose un volume $V_1 = 30mL$ de cette solution par une solution (S_2) acidifiée de permanganate de potassium ($K^+_{(aq)} + MnO_4^-_{(aq)}$) de concentration $C_2 = 4 \times 10^{-3} mol \cdot L^{-1}$

Lors de ce dosage, on constate que la couleur du mélange du bécher devient violette après avoir ajouté un volume $V_E = 12mL$ de la solution de permanganate de potassium.

Les couples intervenant dans la réaction du dosage

sont: $Fe^{3+}_{(aq)}/Fe^{2+}_{(aq)}$ et $MnO_4^-_{(aq)}/Mn^{2+}_{(aq)}$

- ➊ Identifier la solution titrée et la solution titrante de ce dosage .
- ➋ Quelle est l'espèce chimique responsable de la couleur verte de la (S_1) et celle responsable de la couleur violette dans la solution (S_2)
- ➌ Écrire l'équation modélisant la réaction du dosage, en déterminant sa nature .
- ➍ Expliquer la disparition de la couleur violette au début du dosage.
- ➎ Comment expliquer l'apparition de la couleur violette dans le mélange après avoir ajouté un volume $V_E = 12mL$ de la solution de la solution (S_2) .
- ➏ Construire le tableau d'avancement associé à la réaction du dosage à l'état d'équivalence .
- ➐ En exploitant le tableau d'avancement associé à la réaction du dosage, établir la relation d'équivalence.
- ➑ Calculer la concentration C_1 de la solution (S_1).



➒ La solution titrée est la solution (S_1) de sulfate de fer ($Fe^{2+}_{(aq)} + SO_4^{2-}_{(aq)}$) et la solution titrante est la solution de permanganate de potassium ($K^+_{(aq)} + MnO_4^-_{(aq)}$) .

➓ L'espèce chimique responsable de la couleur verte de la (S_1) est l'ion de fer II ($Fe^{2+}_{(aq)}$) et celle responsable de la couleur violette dans la solution (S_2) est l'ion permanganate $MnO_4^-_{(aq)}$.

➔ L'équation la réaction du dosage:

Pour le couple $MnO_4^-_{(aq)}/Mn^{2+}_{(aq)}$ On a : $MnO_4^-_{(aq)} + 8H^+_{(aq)} + 5e^- \rightleftharpoons Mn^{2+}_{(aq)} + 4H_2O_{(l)}$

Pour le couple $\text{Fe}^{3+}_{(aq)}/\text{Fe}^{2+}_{(aq)}$ on a : $(\text{Fe}^{2+}_{(aq)} \rightleftharpoons \text{Fe}^{3+}_{(aq)} + e^-) \times 5$

L'équation bilan : $5\text{Fe}^{2+}_{(aq)} + \text{MnO}_4^-_{(aq)} + 8\text{H}^+_{(aq)} \rightarrow 5\text{Fe}^{3+}_{(aq)} + \text{Mn}^{2+}_{(aq)} + 4\text{H}_2\text{O}_{(l)}$

C'est une réaction d'oxydoréduction.

- ④ Avant l'équivalence ($V_2 < V_E$), l'ion permanganate $\text{MnO}_4^-_{(aq)}$ est le réactif limitant, sa couleur violette disparait rapidement dès qu'on l'ajoute au mélange
- ⑤ À l'équivalence ($V_2 > V_E$) les ions $\text{Fe}^{2+}_{(aq)}$ sont complètement consommés, ce qui explique l'apparition de la couleur violette à cause de l'accumulation des ions $\text{MnO}_4^-_{(aq)}$, dans le bêcher.
- ⑥ Le tableau d'avancement associé à la réaction du dosage à l'état d'équivalence .

Équation		$5\text{Fe}^{2+}_{(aq)} + \text{MnO}_4^-_{(aq)} + 8\text{H}^+_{(aq)} \rightarrow 5\text{Fe}^{3+}_{(aq)} + \text{Mn}^{2+}_{(aq)} + 4\text{H}_2\text{O}_{(l)}$						
État	Avancement	Les quantités de matière en mole (mol)						
Initial	0	$c_1 \cdot V_1$	$c_2 \cdot V_2$			0	0	En excès
Intermédiaire	x	$c_1 \cdot V_1 - 5x$	$c_2 \cdot V_2 - bx$			$5x$	x	
Équivalence	x_E	$c_1 \cdot V_1 - 5x_E$	$c_2 \cdot V_E - bx_E$			$5x_E$	x_E	

- ⑦ À l'équivalence les réactifs titré et titrant sont totalement consommés, donc on aura :

$$\begin{cases} c_1 \cdot V_1 - 5x_E = 0 \\ c_2 \cdot V_E - x_E = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} x_E = \frac{c_1 \cdot V_1}{5} & ① \\ x_E = c_2 \cdot V_E & ② \end{cases}$$

D'après les deux équations ① et ② on trouve : $\frac{c_1 \cdot V_1}{5} = c_2 \cdot V_E$ cette relation est appelée la relation d'équivalence .

$$⑧ \text{ On a : } \frac{c_1 \cdot V_1}{5} = c_2 \cdot V_E \text{ donc : } c_1 = 5 \frac{c_2 \cdot V_E}{V_1}$$

$$\text{A.N : } c_1 = 5 \times \frac{4 \times 10^{-3} \times 12}{30}$$

$$\text{On trouve : } c_1 = 8 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$$

❖ Conclusion

- Le dosage colorimétrique est une manipulation qui permet de déterminer la concentration inconnue de la solution titrée en se basant sur le changement du couleur du mélange à l'état d'équivalence.

Série d'exercices

Exercice 1

① Répondre par vrai ou faux

- Le dosage est une méthode destructrice.
- Lors du dosage, le réactif titré est introduit dans la burette graduée.
- Le dosage conductimétrique est plus précis que le dosage colorimétrique.
- Il est possible de titrer deux espèces chimiques en même temps, à condition qu'elles soient dans la même solution.
- Le réactif titré peut-être un corps solide.
- Lors du dosage et avant l'équivalence, le réactif limitant est le titrant.
- À l'équivalence du dosage , le mélange devient stœchiométrique.

Exercice 2

Pour déterminer la concentration C_B d'une solution (S_B) d'hydroxyde de sodium ($\text{Na}_{(aq)}^+ + \text{HO}_{(aq)}^-$), on dose par conductimétrie un volume V_B de cette solution par une solution (S_A) de l'acide chlorhydrique ($\text{H}_3\text{O}_{(aq)}^+ + \text{Cl}_{(aq)}^-$) de concentration $C_A = 1,5 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$. L'état d'équivalence de ce dosage est atteint après avoir versé un volume $V_B = 10 \text{ mL}$. Les couples mis en jeu sont: $\text{H}_3\text{O}_{(aq)}^+/\text{H}_2\text{O}_{(l)}$ et $\text{H}_2\text{O}_{(l)}/\text{HO}_{(aq)}^-$

- ① Identifier la solution titrée et la solution titrante de ce dosage.
- ② Écrire l'équation de la réaction du dosage, en déterminant sa nature.
- ③ Déterminer les espèces chimiques responsables de la conductivité du mélange du bêcher, en comparant leurs conductivités molaires ioniques:
- ④ Calculer la concentration C_B de la solution (S_B).

Exercice 3

On dose par titrage colorimétrique un volume $V_1 = 15 \text{ mL}$ d'une solution (S_1) du diiode I_2 par une solution (S_2) du thiosulfate de sodium ($2\text{Na}_{(aq)}^+ + \text{S}_2\text{O}_{3(aq)}^{2-}$) de concentration $C_2 = 3 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$.

Les couples mis en jeu lors de ce dosage sont : $\text{I}_{2(aq)}/\text{I}_{(aq)}^-$; $\text{S}_4\text{O}_{6(aq)}^{2-}/\text{S}_2\text{O}_{3(aq)}^{2-}$

- ① Quelles sont les caractéristiques de la réaction du dosage ?
- ② Écrire les demi-équations d'oxydoréduction qui se produisent lors de cette réaction du dosage et déduire son équation bilan.
- ③ La couleur jaune caractéristique du diiode disparaît immédiatement après l'ajout d'un volume $V'_2 = 15 \text{ mL}$.
 - a - Que représente ce volume ?
 - b - Comment expliquer la disparition immédiate de la couleur jaune caractéristique du diiode ?
 - c - Construire le tableau d'avancement associé à la réaction du dosage à l'état d'équivalence ?
 - d - En exploitant le tableau d'avancement, établir la relation d'équivalence.
 - e - Calculer la concentration C_1 de la solution (S_1)

Série d'exercices

Exercice 4

On titre un volume $V_1 = 8\text{mL}$ d'une solution (S_1) de l'eau oxygénée $\text{H}_2\text{O}_{2(aq)}$ (solution incolore), par une solution (S_2) de permanganate potassium acidifiée ($\text{K}^+_{(aq)} + \text{MnO}_{4(aq)}^-$) (solution violette) de concentration $C_2 = 4 \times 10^{-2}\text{mol.L}^{-1}$.

- ① Faire un schéma légendé du montage expérimental du dosage.
- ② Écrire les demi-équations d'oxydoréduction qui se produisent lors de ce dosage et déduire l'équation bilan. Les couples mis en jeu sont: $\text{MnO}_{4(aq)}^-/\text{Mn}^{2+}_{(aq)}$ et $\text{O}_{2(g)}/\text{H}_2\text{O}_{2(aq)}$
- ③ Lors de ce dosage, l'équivalence est atteint après l'ajout d'un volume $V_2 = 12\text{mL}$ de la solution (S_2). Calculer la concentration C_1 de la solution de l'eau oxygénée .
- ④ Pour un volume versé $V'_2 = 9\text{mL}$ de solution (S_2) de permanganate potassium, déterminer:
 - a – La couleur du mélange.
 - b – Le réactif limitant de la réaction du dosage .
 - c – Le tableau d'avancement de la réaction du dosage .
 - d – La composition du système à l'état final.

Exercice 5

On prépare une solution (S_0) du méthanoate de sodium ($\text{Na}^+_{(aq)} + \text{HCOO}^-_{(aq)}$), en dissolvant une masse m_0 des cristaux du méthanoate de sodium HCOONa dans un litre de l'eau distillée .

Dans le but de déterminer la masse m_0 par dosage, on procède d'abord à une dilution de $1/50$ d'un volume $V_0 = 1\text{mL}$ de la solution (S_0). Soit (S_1) la solution obtenue.

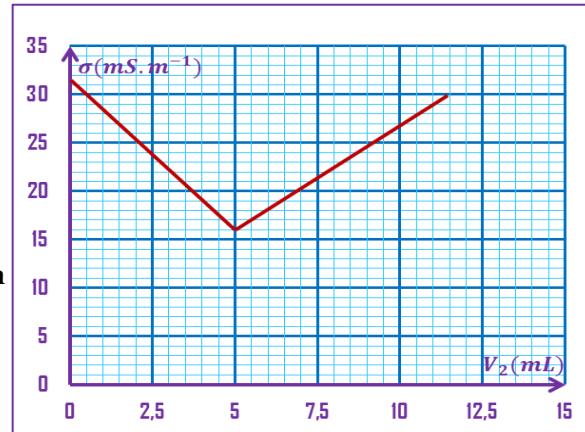
On prélève un volume $V_B = 5\text{mL}$ de la solution (S_1) et on réalise le dosage conductimétrique avec une solution (S_2) de l'acide chlorhydrique ($\text{H}_3\text{O}^+_{(aq)} + \text{Cl}^-_{(aq)}$), de concentration molaire $C_2 = 2 \times 10^{-2}\text{mol.L}^{-1}$.

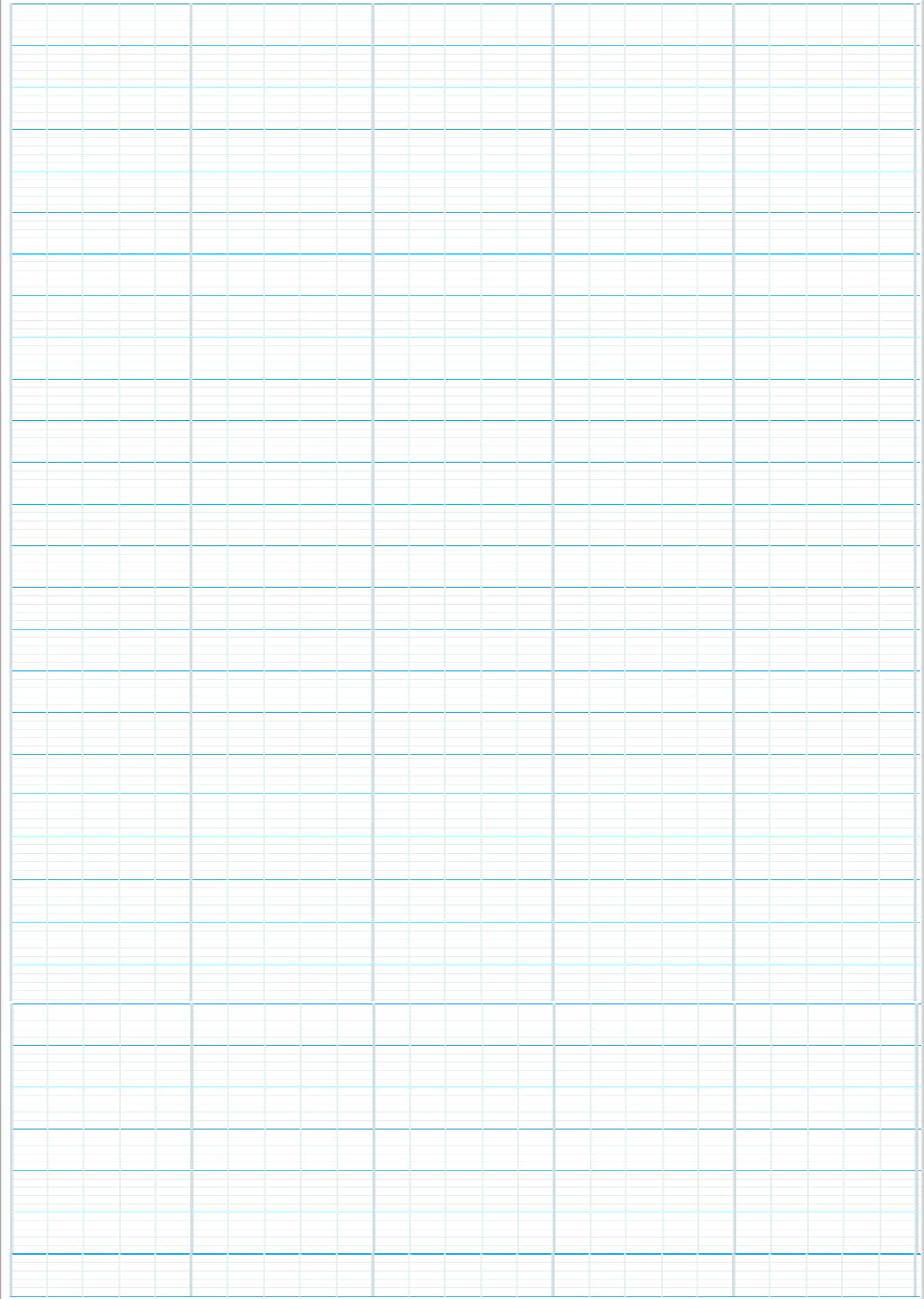
Les couples mis en jeu sont : $\text{HCOOH}_{(aq)}/\text{HCOO}^-_{(aq)}$ et $\text{H}_3\text{O}^+_{(aq)}/\text{H}_2\text{O}_{(l)}$

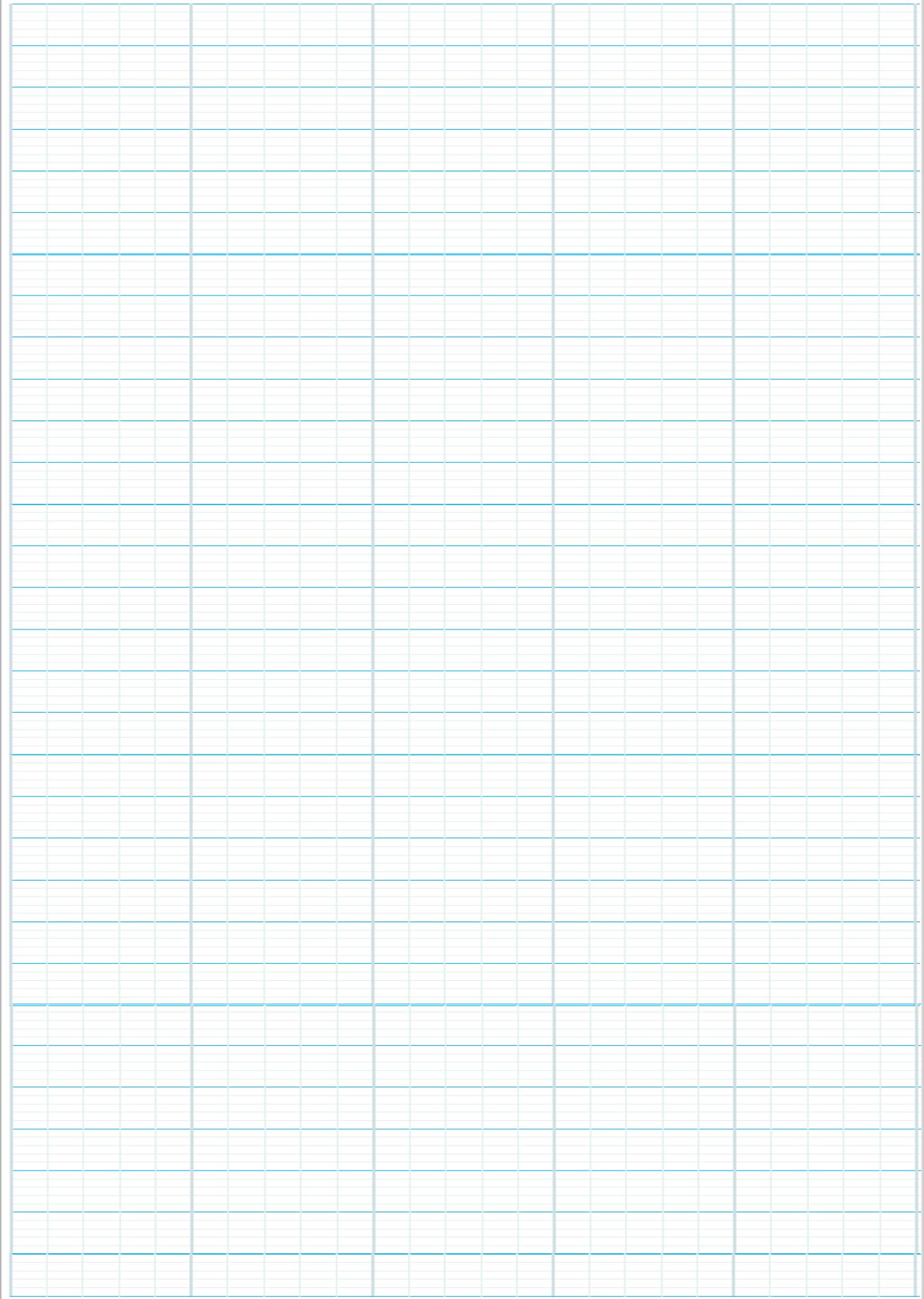
- ① Faire un schéma légendé du montage expérimental du dosage.
- ② Écrire l'équation de la réaction du dosage .
- ③ Les mesures ont permis de tracer la courbe ci-contre qui représente les variations de la conductivité σ du mélange en fonction du volume V_2 de l'acide chlorhydrique versé.
 - a – Déterminer le volume de l'acide chlorhydrique ajouté à l'équivalence
 - b – Calculer la concentration C_1 de la solution (S_1) et déduire la concentration C_0 de la solution (S_0)
 - c – Calculer la masse m_0 du méthanoate de sodium dissout dans la solution (S_0) .
- ④ Pour un volume versé $V'_2 = 9\text{mL}$ de solution de la solution titrante déterminer:
 - a – Le réactif limitant
 - b – Le tableau d'avancement de la réaction du dosage .
 - c – La composition du système à l'état final.

Données:

$$M(\text{C}) = 12\text{g.mol}^{-1}; M(\text{H}) = 1\text{g.mol}^{-1}; M(\text{O}) = 16\text{g.mol}^{-1}$$







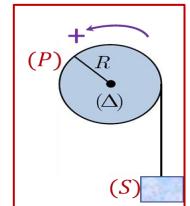
Devoirs



Exercice 1 Mouvement de rotation d'un corps solide autour d'un axe fixe

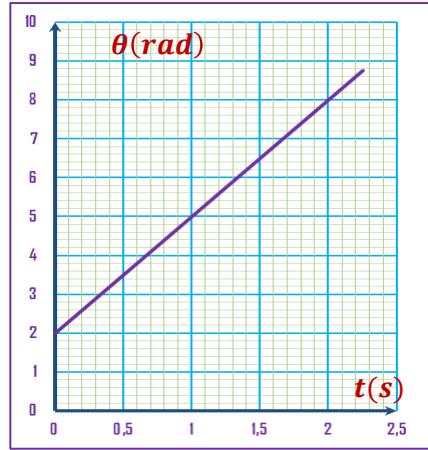
On soulève un corps solide (**S**) de masse $m = 150 \text{ Kg}$ à une vitesse constante à l'aide d'un moteur, constitué d'une poulie (**P**) de rayon $R = 40 \text{ cm}$ susceptible de tourner sans frottement autour d'un axe fixe (Δ) passant par son centre, et enrouler par un fil inextensible et de masse négligeable. (figure ①)

La figure ② représente les variations d'abscisse angulaire d'un point **M** se trouvant à la circonference de la poulie en fonction du temps.



barème

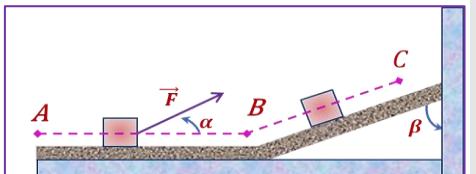
- ① Quelle la nature du mouvement de la poulie ? Justifier la réponse.
- ② En se basant sur la courbe de la figure ② déterminer :
 - a – La vitesse angulaire de la poulie (**P**).
 - b – L'abscisse angulaire à l'origine des dates θ_0 .
 - c – L'équation horaire vérifiée par l'abscisse angulaire $\theta(t)$ de la poulie
 - d – L'équation horaire vérifiée par l'abscisse curviligne $s(t)$ du point **M**
- ③ Calculer la période **T** et déduire **N** la fréquence du mouvement.
- ④ La durée de levage du corps est $\Delta t = 20\text{s}$.
 - a – Calculer la distance parcourue par (**S**) pendant cette durée .
 - b – Calculer le travail du poids de (**S**) pendant cette durée.
 - c – Par application du principe d'inertie, déterminer l'intensité de la force appliquée par le fil sur le corps (**S**).
- ⑤ En appliquant le théorème des moments, calculer le moment du couple moteur que l'on considère constant. En déduire la puissance du moteur. On donne : l'intensité de la pesanteur : $g = 10 \text{ N/kg}$



Exercice 2 Mouvement de translation d'un corps solide

Un corps solide de masse $m = 700\text{g}$ glisse sur une piste **ABC** composée de deux parties :

- Partie rectiligne de longueur : $AB = 6 \text{ m}$
- Partie **BC** rectiligne de longueur **L** et inclinée d'un angle $\beta = 30^\circ$ par rapport au plan vertical.



barème

I- L'étude du mouvement du corps sur la partie AB

Le corps glisse sur la piste **AB** avec une vitesse constante sous

l'effet d'une force constante \vec{F} d'intensité $F = 4,5\text{N}$ et de direction inclinée d'un angle $\alpha = 25^\circ$ par rapport au plan horizontal **AB**. Les frottements sont équivalents à une force constante \vec{f} .

- ① Faire l'inventaire des forces appliquées sur le corps sur cette partie .
- ② Calculer le travail du poids \vec{P} , et celle de la force \vec{F} lors du déplacement de **A** vers **B**. Commenter le résultat.
- ③ Par application du principe d'inertie, calculer le travail de la réaction \vec{R} du plan **AB**.
- ④ Déduire l'intensité de force de frottement \vec{f} sur la partie **AB**.
- ⑤ Calculer la puissance de la force \vec{F} , sachant que le corps a parcourue la distance **AB** pendant la durée $\Delta t = 15\text{s}$ et déduire la valeur de la vitesse du solide sur la piste **AB** .

II- L'étude du mouvement du corps sur la partie BC

La force \vec{F} s'annule au point **B**, le corps continue son mouvement sans frottement et s'arrête au point **C**

- ① Faire inventaire des forces appliquées sur le corps sur cette partie .
- ② Par application du théorème de l'énergie cinétique entre les points **B** et **C** calculer la longueur **L** de la piste **BC**

On donne : l'intensité de la pesanteur : $g = 10 \text{ N/kg}$

Exercice 3 Calcul de la quantité de matière

barème

I- Préparation d'une solution aqueuse de vitamine C

On dissout un comprimé de masse $m = 500\text{mg}$ d'acide ascorbique (vitamine C), de formule $C_6H_8O_6$, dans un volume d'eau $V = 200\text{mL}$

- ① Définir la masse molaire moléculaire .
- ② Calculer la masse molaire de vitamine C
- ③ Calculer la quantité de matière de vitamine C dissoute dans la solution.
- ④ Calculer la concentration molaire et la concentration massique de vitamine C dans la solution .

II- Détermination de la quantité de matière de l'octane

L'octane est un liquide de formule chimique C_8H_{18} et de densité $d = 0,703$ par rapport à l'eau.

On dispose d'un volume $V' = 10\text{mL}$ de l'octane

- ① Définir la densité d'un liquide .
- ② Calculer la masse molaire de l'octane
- ③ Calculer la quantité de matière de l'octane contenant le volume V'
- ④ Calculer le nombre de molécule de l'octane contenant le volume V'
- ⑤ Calculer le nombre d'atome de carbone contenant le volume V' .

III- Détermination de la formule chimique du butane

Le butane de formule chimique C_nH_{2n+2} (n est un nombre entier positif) est un carburant gazeux dérivé du pétrole, il est principalement utilisé dans le chauffage, la cuisson et le remplissage des briquets, ainsi que dans l'industries pétrochimiques.

On dispose une bouteille de gaz de butane dont le volume est $V = 26\text{L}$, sa température est $T = 25^\circ\text{C}$ et sa pression est $P = 8 \times 10^5\text{Pa}$.

À l'aide d'une balance électronique, on pèse la masse de butane emprisonné à l'intérieur de la bouteille (voire les figures ci-dessous)



Figure 1 : La masse de la bouteille contenant le gaz $m = 9886,62\text{g}$

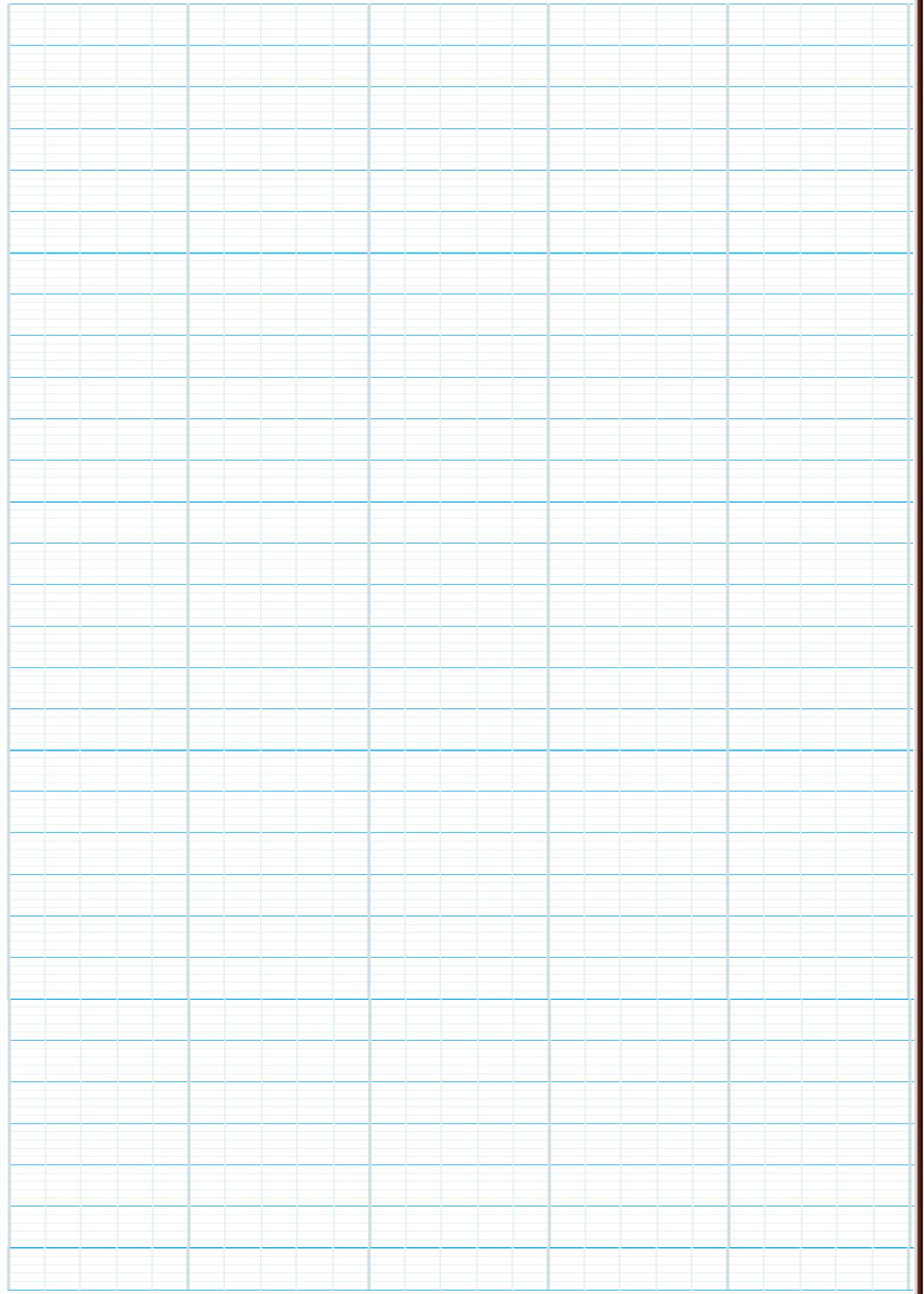


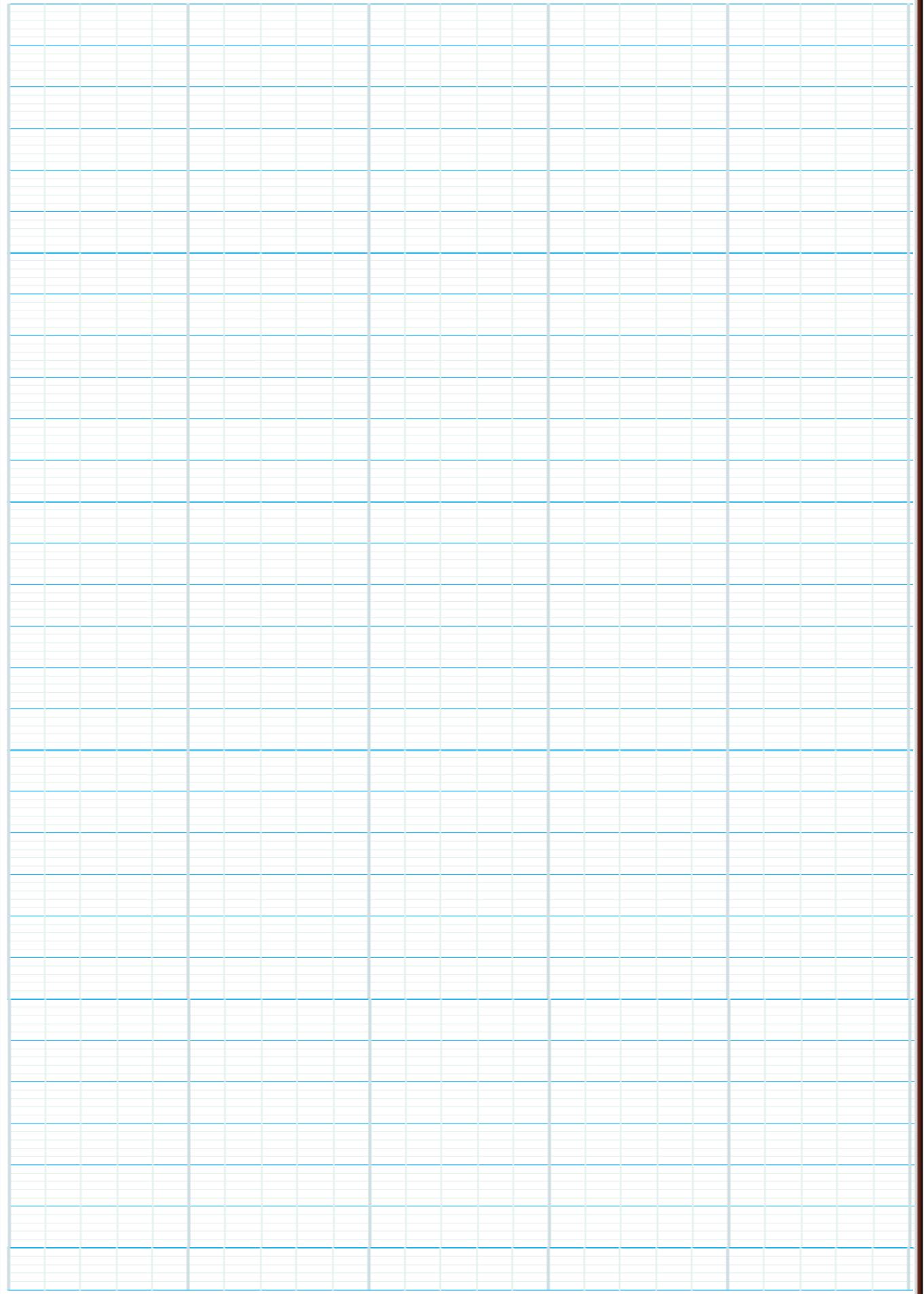
Figure 2 : La masse de la bouteille vide :
 $m' = 9400\text{g}$

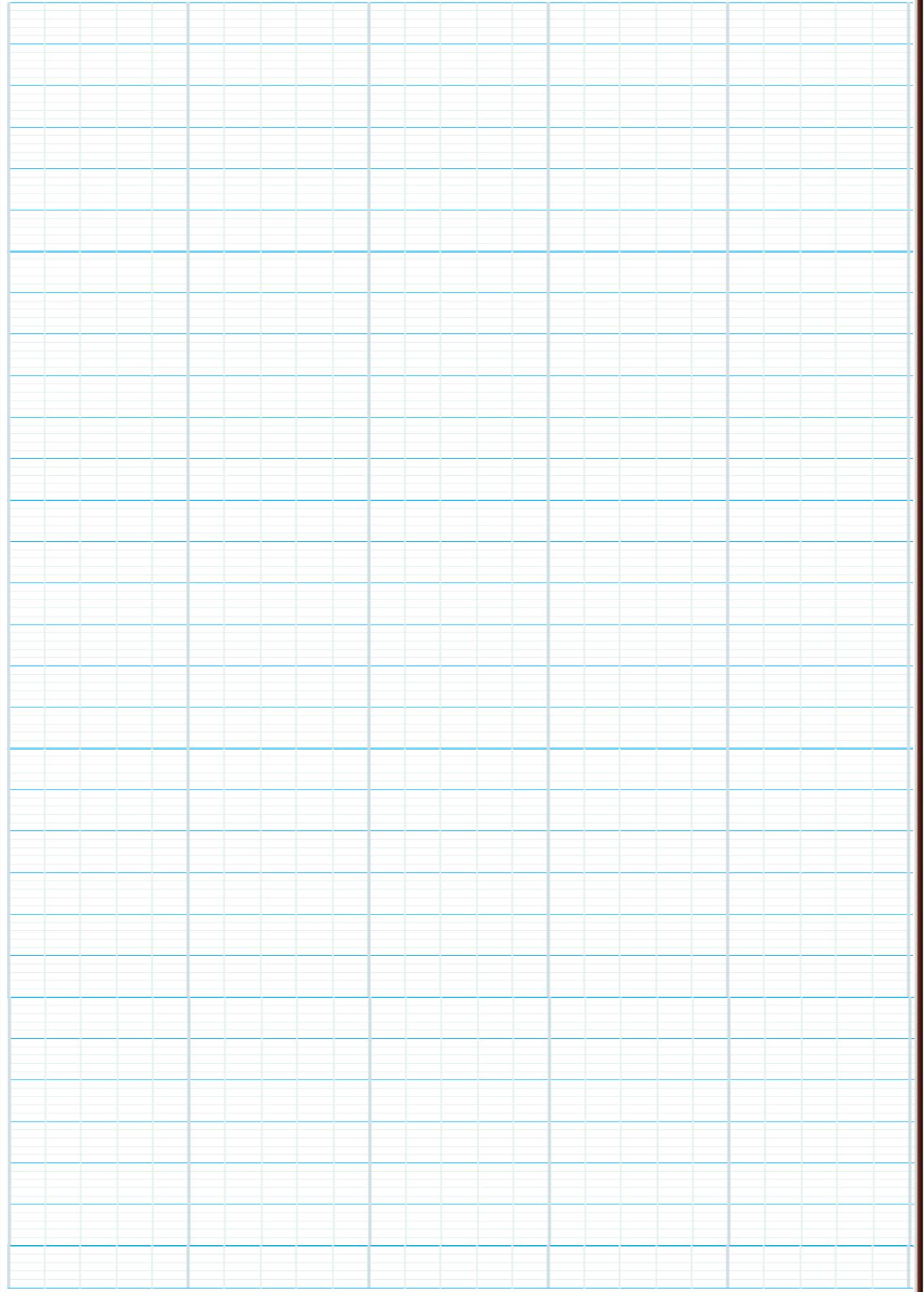
- ① En exploitant les deux figures ci-dessus déterminer la masse de butane emprisonné dans la bouteille
- ② Calculer la quantité de matière de butane contenant la bouteille
- ③ Déduire la masse molaire de butane .
- ④ Exprimer la masse molaire de butane en fonction de n (entier positif) et déduire la formule brute de butane

Données

- Les masses molaires atomiques : $M(C) = 12\text{g.mol}^{-1}$, $M(O) = 16\text{g.mol}^{-1}$, $M(H) = 1\text{g.mol}^{-1}$
- La constante des gaz parfaits : $R = 8,314\text{Pa.m}^3\text{K}^{-1}\text{mol}^{-1}$
- La constante d'Avogadro : $N_A = 6,02 \times 10^{23}\text{ mol}^{-1}$
- La température en Kelvin : $T(K) = T(\text{ }^\circ\text{C}) + 273,15$
- La masse volumique de l'eau : $\rho_e = 1\text{g.cm}^{-3}$





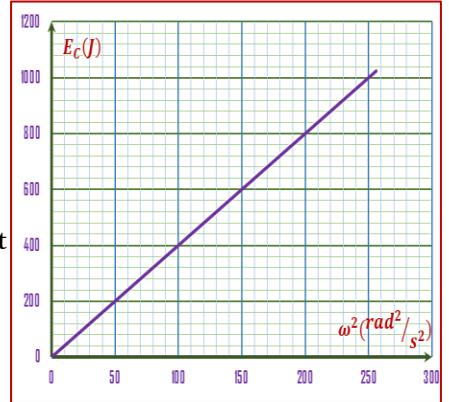
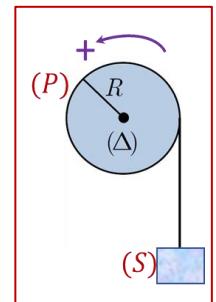


Exercice 1 Mouvement de rotation d'un corps solide autour d'un axe fixe

On soulève un corps solide (**S**) de masse **m** à l'aide d'un moteur, constitué d'une poulie (**P**) de rayon **R = 20 cm** susceptible de tourner sans frottement autour d'un axe fixe (**Δ**) passant par son centre, et enrouler par un fil inextensible et de masse négligeable. (figure ①)

La figure ② représente les variations de l'énergie cinétique de la poulie en fonction du carré de sa vitesse angulaire.

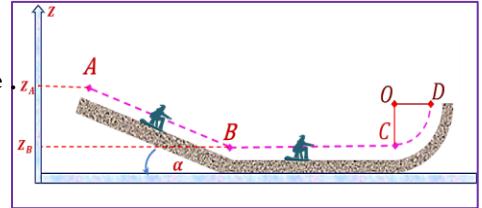
- ① Exprimer l'énergie cinétique de la poulie en fonction de J_{Δ} et ω^2 .
 - ② En se basant sur la courbe de la figure ② déterminer le moment d'inertie J_{Δ} de la poulie et déduire la valeur de sa masse **m**
 - ③ Calculer la variation de l'énergie cinétique entre les instants t_1 et t_2 sachant que : $\omega_1 = 10 \text{ rad/s}$ et $\omega_2 = 12,25 \text{ rad/s}$
 - ④ Faire le bilan des forces exercées sur la poulie
 - ⑤ Pendant la durée de temps $\Delta t = t_2 - t_1$ le corps parcourt une distance **d = 10m**.
 - a – Calculer l'abscisse angulaire $\Delta\theta$ effectué par la poulie pendant cette durée.
 - b – En appliquant le théorème de l'énergie cinétique entre les instants t_1 et t_2 , calculer le travail du couple du moteur .
 - c – Déduire la valeur du moment du couple du moteur M_c
- Données :**
- Moment d'inertie de la poulie : $J_{\Delta} = \frac{1}{2} m R^2$
 - Tension du fil $T = 2400 \text{ N}$



Exercice 2 Mouvement de translation d'un corps solide

Un skieur sur une piste composée de trois parties :

- Partie **AB** rectiligne de longueur : **L = 500 m** et inclinée d'un angle **α = 25°** par rapport à l'horizontale .
- Partie **BC** rectiligne et horizontale de longueur **d = 300m**
- Partie **CD** circulaire de rayon **R**



I- L'étude du mouvement du skieur sur la partie AB

Le skieur glisse à partir du point A sans vitesse initiale et sans frottement .On choisit le plan horizontal passant par B comme référence de l'énergie potentielle de pesanteur

- ① Calculer l'énergie potentielle de pesanteur du skieur au point **A** .
- ② Calculer l'énergie potentielle de pesanteur du skieur au point **B** .
- ③ Déduire le travail du skieur entre **A** et **B** .
- ④ En appliquant le principe de conservation de l'énergie mécanique, calculer la vitesse du skieur en **B**

II- L'étude du mouvement du skieur sur la partie BC

Le skieur continue son mouvement sur la partie **BC** , On considère que les frottements sur cette partie sont équivalents à une force \vec{f} d'intensité **f = 86N**

- ① En appliquant le théorème de l'énergie cinétique entre **B** et **C** calculer la vitesse du skieur en **C**
- ② Calculer la quantité de chaleur libérée par le skieur et son équipement sur cette partie .

III- L'étude du mouvement du skieur sur la partie BC

Le skieur continue son mouvement sans frottement sur la partie **DC** jusqu'à ce qu'il s'arrête en **D**

- ① En appliquant le principe de conservation de l'énergie mécanique entre **C** et **D** , calculer le rayon **R** de la partie **DC**
- Données :**
- L'intensité de la pesanteur : **g = 10 N/kg**
 - Masse du skieur et son équipement : **m = 10 0kg**

Exercice 3 Chimie

I- Etude d'une solution électrolytique

On prépare une solution aqueuse (S) de sulfate d'aluminium ($2Al^{3+}_{(aq)} + 3SO_4^{2-}_{(aq)}$) , en dissolvant une masse $m = 1,71g$ de sulfate d'aluminium $Al_2(SO_4)_3$ anhydre dans un volume $V = 100mL$ de l'eau distillée .

- ① Définir : le corps solide ionique , la solution électrolytique .
- ② Écrire l'équation de la dissolution de sulfate d'aluminium $Al_2(SO_4)_3$ dans l'eau .
- ③ Calculer la quantité de matière de sulfate d'aluminium $Al_2(SO_4)_3$ dissoute dans l'eau .
- ④ Calculer la concentration molaire C de la solution (S) .
- ⑤ Calculer les concentrations molaires effectives des ions $Al^{3+}_{(aq)}$ et $SO_4^{2-}_{(aq)}$ dans la solution (S) .
- ⑥ On ajoute dans la solution (S) , une masse $m' = 0,2g$ de sulfate d'aluminium $Al_2(SO_4)_3$ on suppose que le volume du mélange n'est pas changé.
 - a – Calculer la quantité de matière de sulfate d'aluminium $Al_2(SO_4)_3$ dans la nouvelle solution.
 - b – Déduire les concentrations effectives des espèces chimiques présentes dans le mélange obtenu .
- ⑦ Étudier la polarité des molécules suivantes : H_2O ; CO ; HF ; N_2

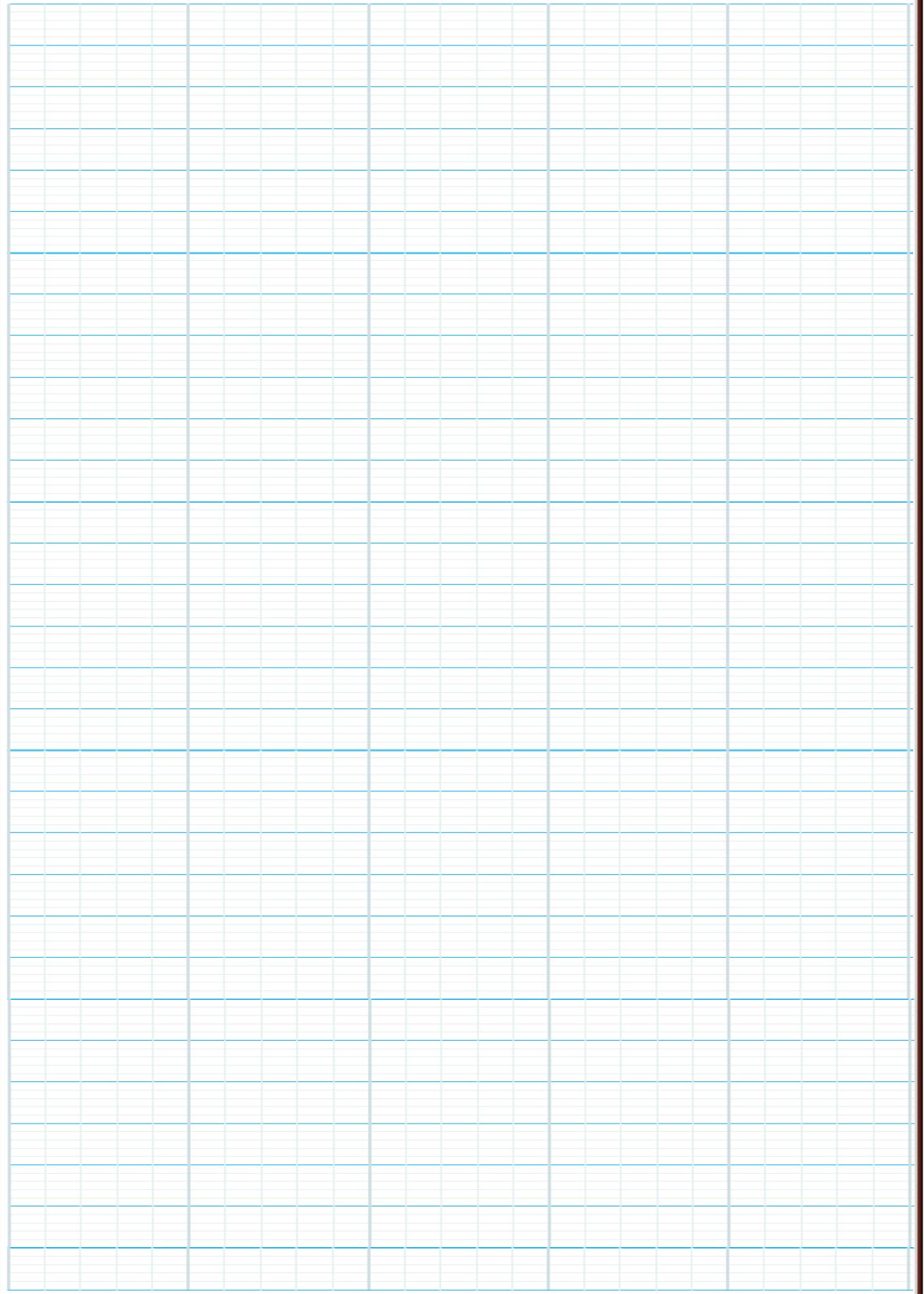
II- Suivi d'une transformation chimique

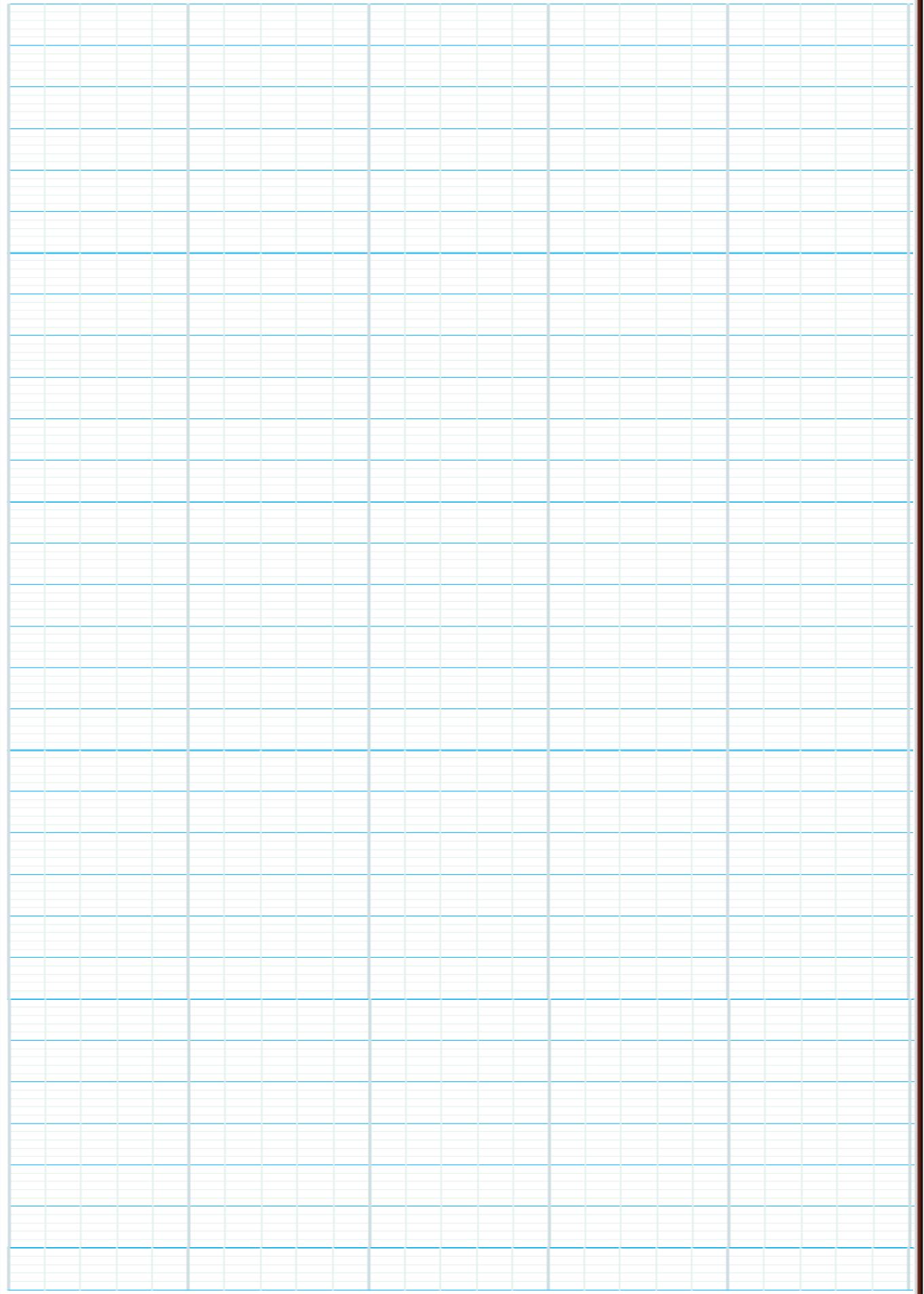
On introduit une plaque de Zinc dans un bêcher contenant une solution de sulfate de cuivre II ($Cu^{2+}_{(aq)} + SO_4^{2-}_{(aq)}$) de volume $V = 100mL$ et de concentration $C = 2 \times 10^{-2} mol/L$. La solution initialement bleue devient incolore et il se forme un dépôt de cuivre Cu et des ions de Zinc $Zn^{2+}_{(aq)}$

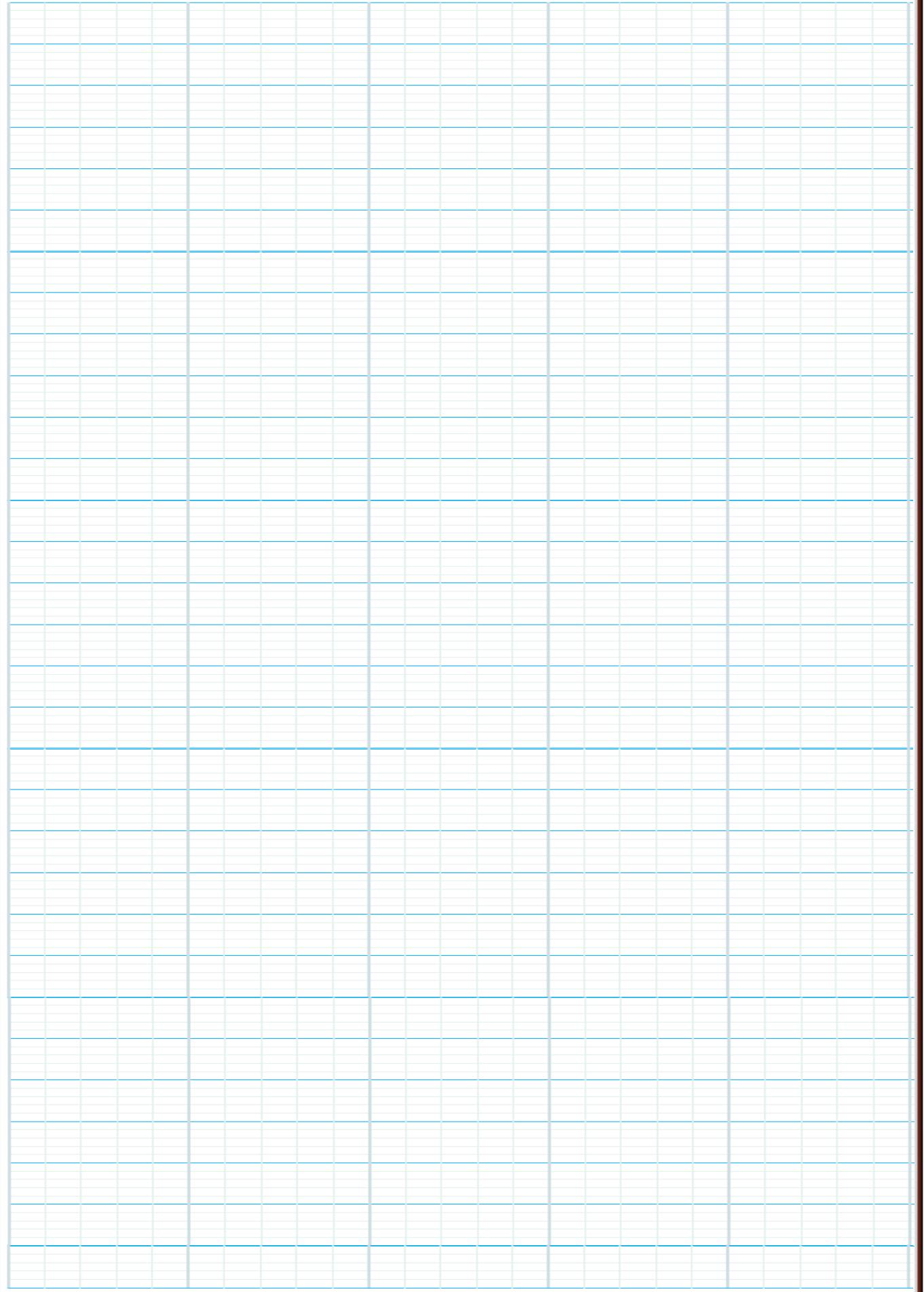
- ① Calculer la quantité de matière initiale des ions $Cu^{2+}_{(aq)}$ dans la solution .
- ② Écrire l'équation de la réaction entre le Zinc et les ions de cuivre $Cu^{2+}_{(aq)}$
- ③ Construire le tableau d'avancement associé à cette réaction (la quantité de matière de Zinc dans la plaque est supposée en excès) .
- ④ Déterminer le réactif limitant et l'avancement maximal de cette réaction.
- ⑤ Déterminer la composition du système à l'état final .

Données

- Les masses molaires atomiques : $M(Al) = 27 g \cdot mol^{-1}$, $M(O) = 16 g \cdot mol^{-1}$, $M(S) = 32 g \cdot mol^{-1}$







Exercice 1 Étude énergétique d'un pendule pesant

Le pendule pesant étudié est composé d'une barre homogène **AB** de masse **m** , et longueur **$L = 30\text{cm}$** , mobile dans un plan vertical autour d'un axe fixe horizontal (**Δ**) passant par son extrémité **A**.

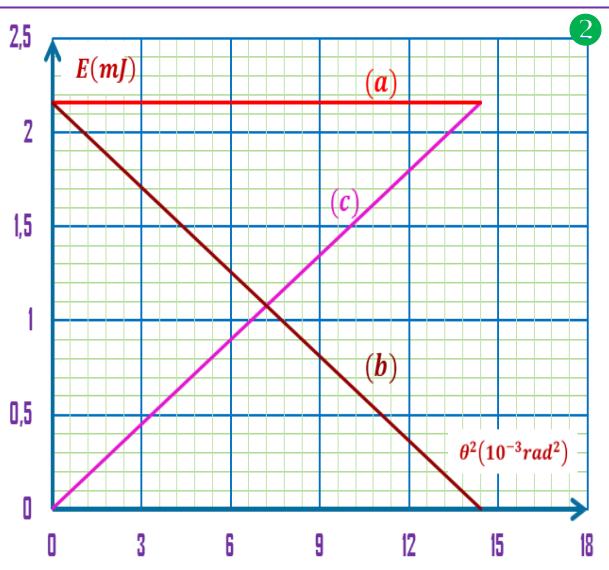
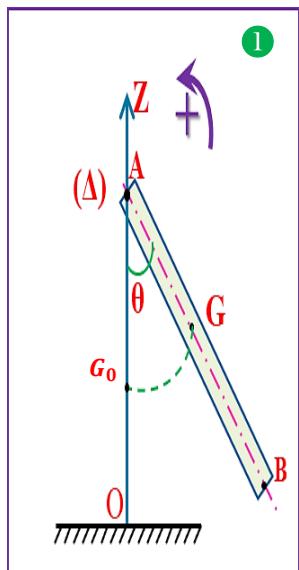
On étudie le mouvement de la barre dans un repère lié à un référentiel terrestre supposé galiléen, et on repère à chaque instant la position de la barre par son abscisse angulaire **θ** (voir la figure ①)

On écarte la barre de sa position d'équilibre stable d'un petit angle **θ_m** dans le sens positif et on la lâche sans vitesse initiale à un instant pris comme origine des dates.

On admet que dans le cas des petites oscillations que : $\cos\theta \approx 1 - \frac{\theta^2}{2}$, avec θ en radian.

On choisit le plan horizontal passant par la position d'équilibre stable de la barre (**G_0**) comme origine de l'énergie potentielle de pesanteur (**$E_{pp} = 0$**)

Les courbes de la figure ② représentent les variations des énergies de la barre en fonction du carré de son abscisse angulaire.



Données :

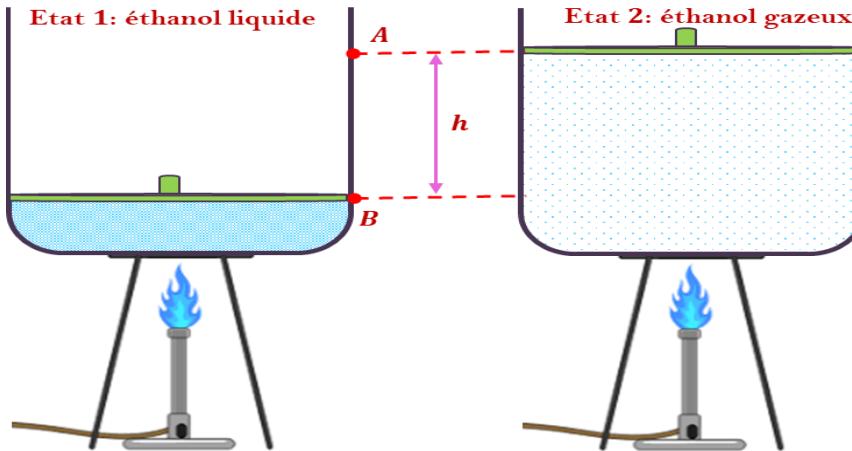
- L'intensité de pesanteur: $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$
- Le moment d'inertie de la barre par rapport à l'axe (Δ) est: $J_\Delta = \frac{mL^2}{3}$

- ① Exprimer l'énergie cinétique de la barre en fonction de **m** , **L** et sa vitesse angulaire **ω** .
- ② Trouver l'expression de l'énergie potentielle de la barre en fonction de **m** , **L** , **g** et **θ** .
- ③ Déduire que $E_{pp} = \frac{mgL}{4} \theta^2$
- ④ En exploitant la figure ② :
 - a – Identifier les courbes (a), (b) et (c). Justifier la réponse.
 - b – Déterminer la valeur de l'énergie mécanique de la barre et celle de son abscisse angulaire maximal **θ_m** .
 - c – Calculer la masse **m** de la barre .
 - d – Calculer la vitesse angulaire maximale **ω_m** de la barre .
- ⑤ Calculer la vitesse linéaire maximale de l'extrémité **B** de la barre.
- ⑥ Calculer le travail du poids de la barre lors de son passage d'un point d'abscisse angulaire **$\theta_1 = 3 \times 10^{-2} \text{ rad}$** à un point d'abscisse angulaire **$\theta_3 = 5 \times 10^{-2} \text{ rad}$** et déterminer sa nature.

Exercice 2 Transfer thermique

Un récipient fermé par un piston de masse négligeable et de section $S = 60\text{cm}^2$ peut coulisser à l'intérieur duquel sans frottements. On introduit dans le récipient une masse $m = 6\text{g}$ d'éthanol liquide à une température $\theta = 25^\circ\text{C}$ et à la pression atmosphérique. On chauffe l'éthanol et il s'évapore complètement à la même température $\theta = 78,5^\circ\text{C}$ et le piston s'élève lentement d'une hauteur $h = 63,5\text{cm}$.

Donnée : ■ La chaleur latente de vaporisation de l'éthanol : $L_V = 333\text{KJ.Kg}^{-1}$



- ① Calculer la quantité de chaleur du changement d'état de l'éthanol.
- ② Calculer la quantité de chaleur reçue par l'éthanol lors du chauffage.
- ③ Calculer l'intensité de la force pressante exercée la pression atmosphérique sur le piston.
- ④ Calculer le travail de la force pressante exercée par l'éthanol gazeux sur le piston.
- ⑤ Calculer la variation de l'énergie interne de l'éthanol lors du chauffage.

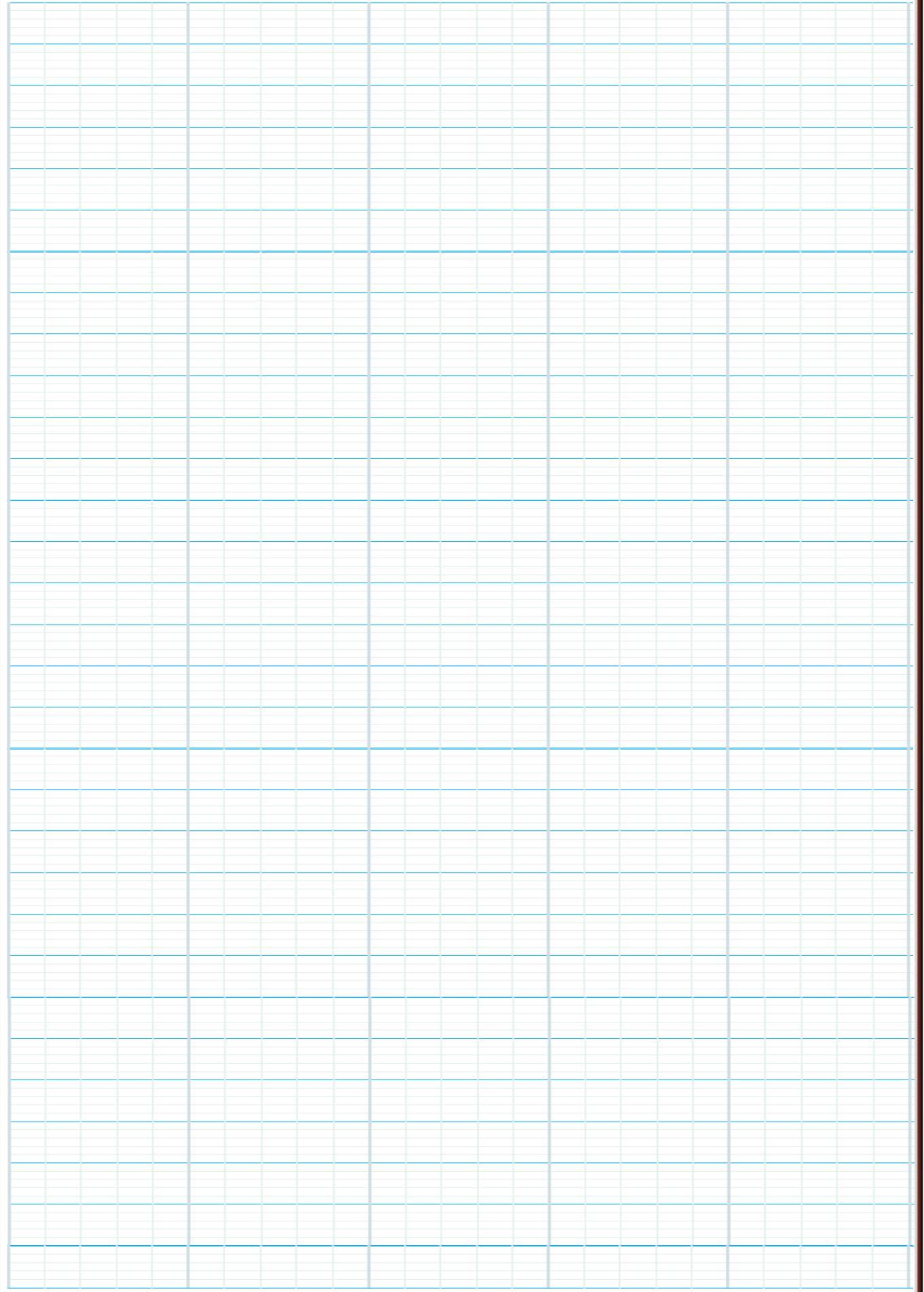
Exercice 3 Étude d'une réaction acidobasique

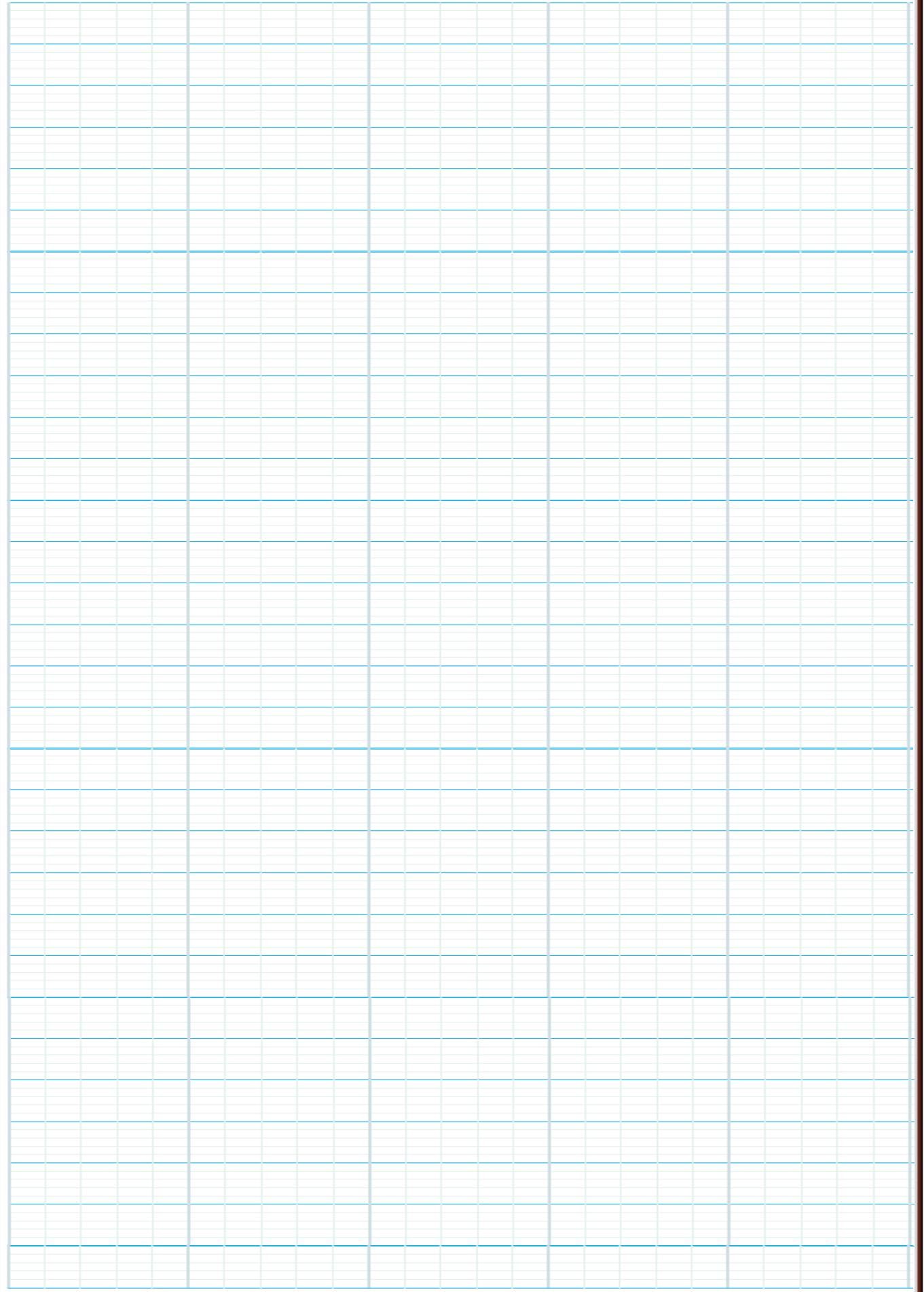
Dans une fiole jaugée, on introduit un volume $V = 10\text{mL}$ d'acide méthanoïque HCOOH de concentration $C = 3 \times 10^{-2}\text{mol.L}^{-1}$, et un volume $V' = 30\text{mL}$ d'hydroxyde de sodium ($\text{Na}^+ + \text{HO}^-$) de concentration $C' = 2 \times 10^{-2}\text{mol.L}^{-1}$.

- ① Définir : La réaction acide- basique ; l'ampholyte ; la base
- ② Ecrire l'équation de la réaction acido-basique entre l'acide méthanoïque HCOOH et l'ion hydroxyde HO^- en précisant les couples acide/base mis en jeu .
- ③ Calculer les quantités de matière initiales des réactifs .
- ④ Construire le tableau d'avancement de cette réaction .
- ⑤ Déterminer le réactif limitant l'avancement maximal x_{\max} de cette réaction.
- ⑥ Calculer les quantités de matière finales des espèces chimiques intervenant dans cette réaction .
- ⑦ Calculer les concentrations molaires effectives des espèces chimiques ioniques à la fin de la réaction.
- ⑧ Trouver l'expression de la conductivité du mélange en fonction de l'avancement x de la réaction .
- ⑨ Calculer la conductivité du mélange à la fin de la réaction.
- ⑩ Calculer la valeur de la conductance d'une portion de la solution à l'état final que l'on peut obtenir lorsqu'on utilise une cellule de mesure de constante $K = 1\text{cm}$.

■ $\lambda_{\text{HCOO}^-} = 5,46 \times 10^{-3}\text{S.m}^2.\text{mol}^{-1}$
 ■ $\lambda_{\text{HO}^-} = 19,8 \times 10^{-3}\text{S.m}^2.\text{mol}^{-1}$
 ■ $\lambda_{\text{Na}^+} = 5,01 \times 10^{-3}\text{S.m}^2.\text{mol}^{-1}$

Données : Les conductivités molaires ioniques :





Bibliographies utilisées

- ❖ **Ministre de l'éducation nationale, programmes des sections internationales-Option français-**
Physique chimie –Première année baccalauréat Sc. Ex - Sc. M .
- ❖ **Collection L'archipel , Première année baccalauréat Sc. Ex - Sc. M , Édition Al Madariss **5ème** édition 2021**
- ❖ **Mohamed El Heddari et autres , Etincelle Physique chimie, Première année baccalauréat Sc. Ex - Sc. M . Édition Apostrophe.**
- ❖ **Abdelhak Ben Saddik et autres, collection Al Massar en Physique chimie, Première année baccalauréat Sc. Ex - Sc. M , Nadia édition 2010.**
- ❖ **Cours sur internet:**
 - **Cours de Physique chimie - Première année baccalauréat Sc. Ex - Sc. M , Prof : Hicham Mahajar .**
 - **Cours de Physique chimie - Première année baccalauréat Sc. Ex - Sc. M ,Prof Yassine Derraz.**
 - **Cours de Physique chimie - Première année baccalauréat Sc. Ex - Sc. M ,Prof Abdelhakim Sbiro.**
 - **Cours de Physique chimie - Première année baccalauréat Sc. Ex - Sc. M ,Prof Rachid Jankel.**
 - **Cours de Physique chimie - Première année baccalauréat Sc. Ex - Sc. M ,Prof Hammou Mona.**
 - **Cours de Physique chimie - Première année baccalauréat Sc. Ex - Sc. M , Prof Mohammed Delahi.**
 - **Cours de Physique chimie - Première année baccalauréat Sc. Ex - Sc. M ,Prof Ayoub Elmardi.**
 - **Cours de Physique chimie - Première année baccalauréat Sc. Ex - Sc. M ,Prof Allal Mahdade.**