

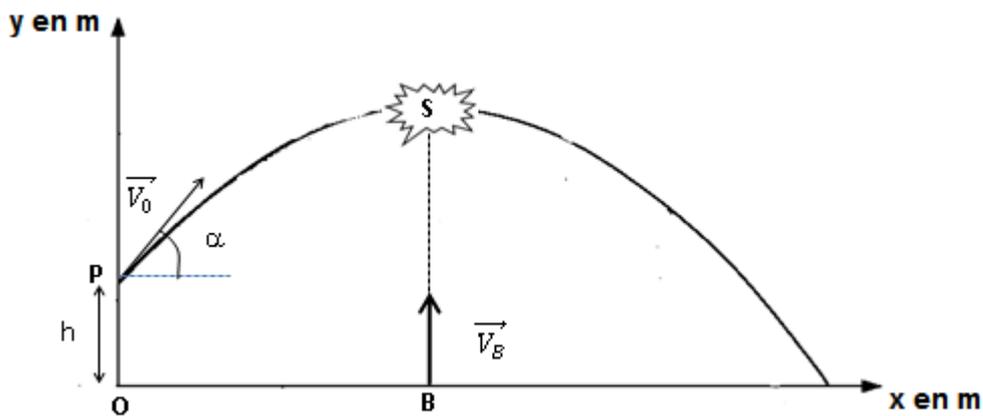
EXERCICE I PARTIE DE BALL-TRAP (7 points)

Le ball-trap consiste à tirer, au fusil, des plateaux de résine projetés dans l'air par un appareil spécialement conçu à cet effet.

Un plateau P de masse $m_p = 100$ g, situé à une hauteur $h = 50$ cm au-dessus du niveau du sol, est lancé avec une vitesse initiale \vec{V}_0 de valeur $V_0 = 32$ m.s⁻¹, faisant un angle $\alpha = 48^\circ$ avec l'horizontale.

Un tireur, situé en B, à la distance $OB = 51$ m de l'endroit de lancer du plateau, tire verticalement une balle pour détruire le plateau lancé. Le point B est situé à la verticale du point S, position occupée par le plateau quand son altitude est maximale.

Figure 1



Donnée : Le champ de pesanteur terrestre est considéré uniforme, de valeur $g = 9,8$ m.s⁻².

Partie A Etude du mouvement du plateau

Dans cette partie, on étudie le mouvement du centre d'inertie G du plateau, dans le repère (Oxy) représenté sur la figure 1. **Toute action de l'air sur le plateau sera négligée.**

- 1- En utilisant une loi de Newton que l'on énoncera, déterminer les coordonnées du vecteur accélération du centre d'inertie G du plateau (Faire apparaître, de façon rigoureuse, les étapes de la démarche).

Le référentiel supposé galiléen : référentiel terrestre.

Le système : le plateau P

Bilan des forces : poids \vec{P} seul (autres actions négligées)

Nous appliquons la deuxième loi de Newton dans le cadre d'une chute libre qui nous mènera à la

relation $\vec{a} = \vec{g}$ (voir cours).

- 2- Montrer, en faisant apparaître rigoureusement les étapes de la démarche, que les équations horaires du mouvement du point G s'écrivent :

$$x(t) = (V_0 \cos \alpha) t \quad \text{et} \quad y(t) = -\frac{1}{2} g \cdot t^2 + (V_0 \sin \alpha) t + h$$

Les conditions initiales de vitesse donnent $v_{0x} = v_0 \cos \alpha$ et $v_{0y} = v_0 \sin \alpha$.

Les conditions initiales de position sont $x_0 = 0$ et $y_0 = h$

Les vecteur \vec{g} a pour coordonnées $g_x = 0$ et $g_y = -g$

Nous obtenons ainsi les coordonnées de l'accélération : $a_x = 0$ et $a_y = -g$

Dans la mesure ou $a_x = \frac{dv_x}{dt}$ et $a_y = \frac{dv_y}{dt}$, nous réalisons une première série de primitives afin de déterminer v_x et v_y à partir de a_x et a_y et nous utilisons les conditions initiales pour obtenir les coordonnées de la vitesse :

$$v_x = v_0 \cos \alpha \quad (1) \quad \text{et} \quad v_y = -gt + v_0 \sin \alpha \quad (2)$$

De même nous réalisons une deuxième série de primitives afin d'obtenir x et y à partir de v_x et v_y et nous utilisons les conditions initiales pour obtenir les coordonnées de la position :

$$x = v_0 \cos \alpha \times t \quad (3) \quad \text{et} \quad y = -\frac{1}{2}gt^2 + v_0 \sin \alpha \times t + h \quad (4)$$

On admet alors que l'équation de la trajectoire du centre d'inertie G du plateau s'écrit :

$$y = \frac{-g \cdot x^2}{2 V_0^2 \cos^2 \alpha} + (\tan \alpha) \cdot x + h$$

2- Montrer que la durée de vol du plateau pour atteindre son altitude maximale est $\Delta t = 2,4$ s.

Lorsque $y = y_{\max}$, $x = OB = 51$ m

$$\text{D'après (3) : } t = \frac{x}{v_0 \cos \alpha} \text{ ce qui donne au sommet : } t_s \text{ (ou } \Delta t) = \frac{51}{32 \times \cos 48^\circ} = 2,4 \text{ s}$$

Partie B Etude du tir

Partie I Vitesse de recul du fusil

Le tireur participant au ball-trap, de masse 75 kg, porte un fusil de masse $m_f = 4,0$ kg. Lors du tir, une balle de masse $m_B = 5,0$ g est expulsée du fusil avec une vitesse \vec{V}_B de valeur $V_B = 310$ m.s⁻¹. Le système {fusil+balle}, initialement immobile, est supposé isolé avant et après le tir.

3- Que peut-on dire du vecteur quantité de mouvement du système avant et après le tir ? Justifier.

Le système {fusil + balle} est présenté comme étant isolé, on peut lui appliquer la 1^{ère} loi de Newton : $\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{0}$ ce qui revient à écrire que sa quantité de mouvement restera constante, avant et après le tir, $\vec{p}_{\text{avant}} = \vec{p}_{\text{après}}$.

5-1 En déduire, dans ce cas, l'expression de la vitesse de recul du fusil \vec{V}_f en fonction de la masse du fusil m_f , de la masse de la balle m_B et de la vitesse de la balle \vec{V}_B . Rédiger rigoureusement la démarche.

La quantité de mouvement du système {fusil + balle} peut, à tout instant, être présenté sous la forme de la somme des quantités de mouvement des différentes parties constituant le système, en l'occurrence la balle et le fusil.

$$\text{Ainsi : } \vec{p}_{\text{avant}} = (m_f + m_b) \times \vec{v}_{\text{avant}} = \vec{0} \text{ (système immobile)}$$
$$\vec{p}_{\text{après}} = \vec{0} = m_f \times \vec{v}_f + m_b \times \vec{v}_b \quad \text{soit : } \vec{v}_b = -\frac{m_b}{m_f} \vec{v}_f$$

5-2 Calculer alors la valeur de la vitesse de recul du fusil.

$$\text{La relation précédente mène à une relation entre valeurs : } v_f = \frac{m_b}{m_f} \times v_b = \frac{5,0 \times 10^{-3}}{4,0} \times 310 = 0,39 \text{ m.s}^{-1}$$

5-3 En réalité, le tireur tient fermement la carabine en appui sur son épaule.

Comment varie la vitesse de recul du fusil dans ce cas ? Justifier sans calcul.

La masse de la partie soumise au recul est en fait $m = m_f + m_{\text{tireur}}$. La vitesse de recul doit donc fortement diminuer afin que le produit des deux (quantité de mouvement de la partie en recul) reste exactement opposé à la quantité de mouvement de la balle qui quitte le fusil.

Partie II Etude du tir

Lorsque le tireur, situé en B, vise le plateau, la balle de masse $m_B = 5,0$ g, expulsée du fusil avec une vitesse \vec{V}_B de valeur $V_B = 310$ m.s⁻¹, part du point B situé à la verticale du point S, position occupée par le plateau quand son altitude est maximale.

6-1 Le mouvement de la balle entre les points B et S étant considéré comme rectiligne et uniforme, montrer alors que la durée $\Delta t'$ nécessaire à la balle pour atteindre sa cible est environ égale à $\Delta t' \approx 0,1$ s. Détailler rigoureusement la démarche.

Le mouvement étant considéré comme rectiligne et uniforme, la relation entre distance parcourue, vitesse (constante) et durée est simplement $d = v\Delta t'$ avec $v = 310$ m.s⁻¹ et $d = BS = y_{\max}$

Puisque nous cherchons $\Delta t' = \frac{d}{v}$, il faut déterminer $d = y_{\max}$ à l'aide de l'équation horaire (4) du plateau à la date $t_s = 2,4$ s ou à l'aide de l'équation de trajectoire donnée (en prenant $x = 51$ m). On obtient $y_{\max} = 29$ m. Ainsi, $\Delta t' = 29/310 = 0,1$ s.

6-2 Comparer Δt et $\Delta t'$ et expliquer pourquoi le tireur peut viser directement le plateau.

$\Delta t' \ll \Delta t$ (« \ll » : nettement inférieur), donc la distance parcourue par le plateau pendant le trajet de la balle est très faible. Le tireur n'a aucune nécessité à anticiper et peut viser directement le plateau.

7- Un autre participant à la partie de ball-trap, toujours placé en B mais plus maladroit que le précédent, manque sa cible qui retombe alors au sol.

En utilisant, les équations établies dans la partie A, déterminer la distance que doit parcourir le tireur maladroit pour aller récupérer le plateau tombé au sol. Détailler rigoureusement la démarche.

Arrivé au sol on a $y = 0$. On peut en déduire l'abscisse x à l'aide de l'équation de la trajectoire donnée dans l'énoncé.

$$-\frac{gx^2}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} + \tan \alpha x + h = 0 \quad - 1,1 \times 10^{-2} x^2 + 1,1 x + 0,50 = 0$$

La solution qui a du sens est la solution positive $x = 1,0 \times 10^2$ m.

Le tireur se trouvant déjà à l'abscisse $x = 51$ m doit encore parcourir $d = 1,0 \times 10^2 - 51 = 49$ m.

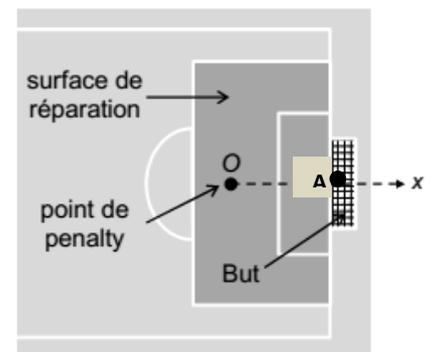
EXERCICE II PANENKA (7 points)

Antonin PANENKA, footballeur international tchécoslovaque, est connu pour avoir laissé son nom à une technique particulière pour tirer les pénaltys ou « tirs au but ». Au lieu de frapper en force, il frappe doucement le ballon qui prend alors une trajectoire en « cloche ». Son geste est devenu célèbre au soir de la finale de la Coupe d'Europe des Nations de 1976, où la Tchécoslovaquie battait la République Fédérale d'Allemagne tenante du titre. Antonin PANENKA, marquant le dernier pénalty par cette technique de balle « en cloche », venait d'inventer la « *Panenka* ».



Lors d'un match de football, un joueur doit tirer un pénalty et décide de tenter une « *Panenka* ». Le joueur dépose le ballon au point de pénalty O, pris comme origine du repère.

Le joueur tape le ballon en direction du centre du but et lui communique une vitesse initiale \vec{V}_0 de valeur $11,5 \text{ m.s}^{-1}$ et dont la direction fait un angle $\alpha = 55^\circ$ avec l'horizontale.



Données :

- **intensité de la pesanteur : $g = 9,81 \text{ N.kg}^{-1}$;**
- **masse du ballon : $m = 620 \text{ g}$;**
- **termes utilisés dans la pratique du football :**

Les buts

Les buts sont constitués de deux montants verticaux (poteaux) reliés en leur sommet par une barre transversale. Le bord inférieur de la barre transversale se situe à une hauteur de $2,44 \text{ m}$ par rapport au sol.

Le pénalty

Le pénalty est une action consistant à frapper directement au but depuis un point nommé « point de pénalty » ou « point de réparation ». Un pénalty est réussi si le ballon franchit la ligne de buts en passant entre les montants et sous la barre transversale.

La surface de réparation

À l'intérieur de chaque surface de réparation, le point de pénalty est marqué à $11,0 \text{ m}$ du milieu de la ligne de but et à égale distance des montants verticaux du but.

ÉTUDE ENERGETIQUE DU MOUVEMENT DU BALLON

1- Définitions

On choisira un axe vertical ascendant et une énergie potentielle de pesanteur nulle sur le plan horizontal passant par l'origine O du repère.

Rappeler les expressions littérales de l'énergie cinétique E_c , de l'énergie potentielle de pesanteur E_{pp} et de l'énergie mécanique E_m d'un solide.

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \quad E_{pp} = mgz \quad E_m = E_c + E_{pp}$$

2- Analyse de courbes

2-1 En explicitant le raisonnement, associer à chaque courbe du **document 1, en ANNEXE : EXERCICE II à rendre avec la copie**, la forme d'énergie correspondante. Que peut-on dire de l'énergie mécanique du ballon lors de son mouvement ?

A $t = 0$ s, le ballon se trouve au sol ($z = 0$), donc son énergie potentielle de pesanteur est nulle à cette date : courbe 3.

L'énergie cinétique est censée évoluer de manière complémentaire à E_{pp} : courbe 2.

La dernière courbe (courbe 1) représente de façon cohérente la somme $E_c + E_{pp}$, c'est l'énergie mécanique E_m .

2-2 À l'aide du **document 1, en ANNEXE : EXERCICE II à rendre avec la copie**, déterminer les valeurs de l'énergie cinétique, de l'énergie potentielle de pesanteur et de l'énergie mécanique lorsque le ballon a parcouru horizontalement :

- $x = 1,0\text{m}$

Sur le graphe : $E_{pp} = 33 \text{ J}$, $E_c = 8 \text{ J}$, $E_m = 41 \text{ J}$

- $x = 5,0\text{m}$

Sur le graphe : $E_{pp} = 26 \text{ J}$, $E_c = 15 \text{ J}$, $E_m = 41 \text{ J}$

3- La coordonnée horizontale de la vitesse du ballon est constante au cours du mouvement et vaut : $V_x = V_0 \cdot \cos\alpha$.

3-1 En appliquant le principe de conservation de l'énergie mécanique, établir l'expression littérale de l'altitude maximale atteinte par le ballon.

$E_{m(O)} = E_{m(S)}$ (« S » comme « sommet »)

$$\frac{1}{2}mv_0^2 + mgz_0 = \frac{1}{2}m(v_0\cos\alpha)^2 + mgz_s \quad (\text{avec } z_0 = 0) \quad z_s = \frac{v_0^2 - (v_0\cos\alpha)^2}{2g}$$

3-2 Calculer la valeur de cette altitude maximale.

$$Z_s = 4,9 \text{ m}$$

3-3 Peut-on en conclure que le ballon est passé au dessus des buts ? Justifier.

On ne peut rien conclure puisque le ballon ne se trouve pas encore au niveau (à l'abscisse) des buts.

4- Par une étude énergétique, en utilisant éventuellement le document 1, calculer la hauteur h_A atteinte par le ballon lorsqu'il franchit la ligne de but au point A.

Au point A, $x = 11$ m. On peut utiliser le graphe et lire la valeur de E_{pp} correspondante : 13 J

On en déduit $z = \frac{E_{pp}}{mg} = \frac{13}{0,620 \times 9,8} = 2,1$ m

Pourquoi peut-on considérer que le pénalty est réussi ?

$2,1 < 2,44\dots$ Le ballon passe sous la barre... Y a but.

5- Etude de la vitesse du ballon sur la ligne de but (point A)

5-1 Par une étude énergétique, en utilisant éventuellement le **document 1**, en ANNEXE :

EXERCICE II à rendre avec la copie, calculer la valeur de la vitesse v_A du ballon lorsqu'il franchit la ligne de but.

Même principe qu'à la question précédente (utilisation du graphe) : en $x_A = 11$ m, $E_{cA} = 28$ J

$$v_A = \sqrt{\frac{2E_{cA}}{m}} \quad (\text{tiré de } E_c = \frac{1}{2}mv^2) \quad v_A = 9,5 \text{ m.s}^{-1}$$

5-2 En réalité la vitesse du ballon au niveau du but est de $v_A = 8,0$ m.s⁻¹.

5-2-1 Quelle force, négligée dans la question 5-1, est responsable de cette différence de vitesse ?

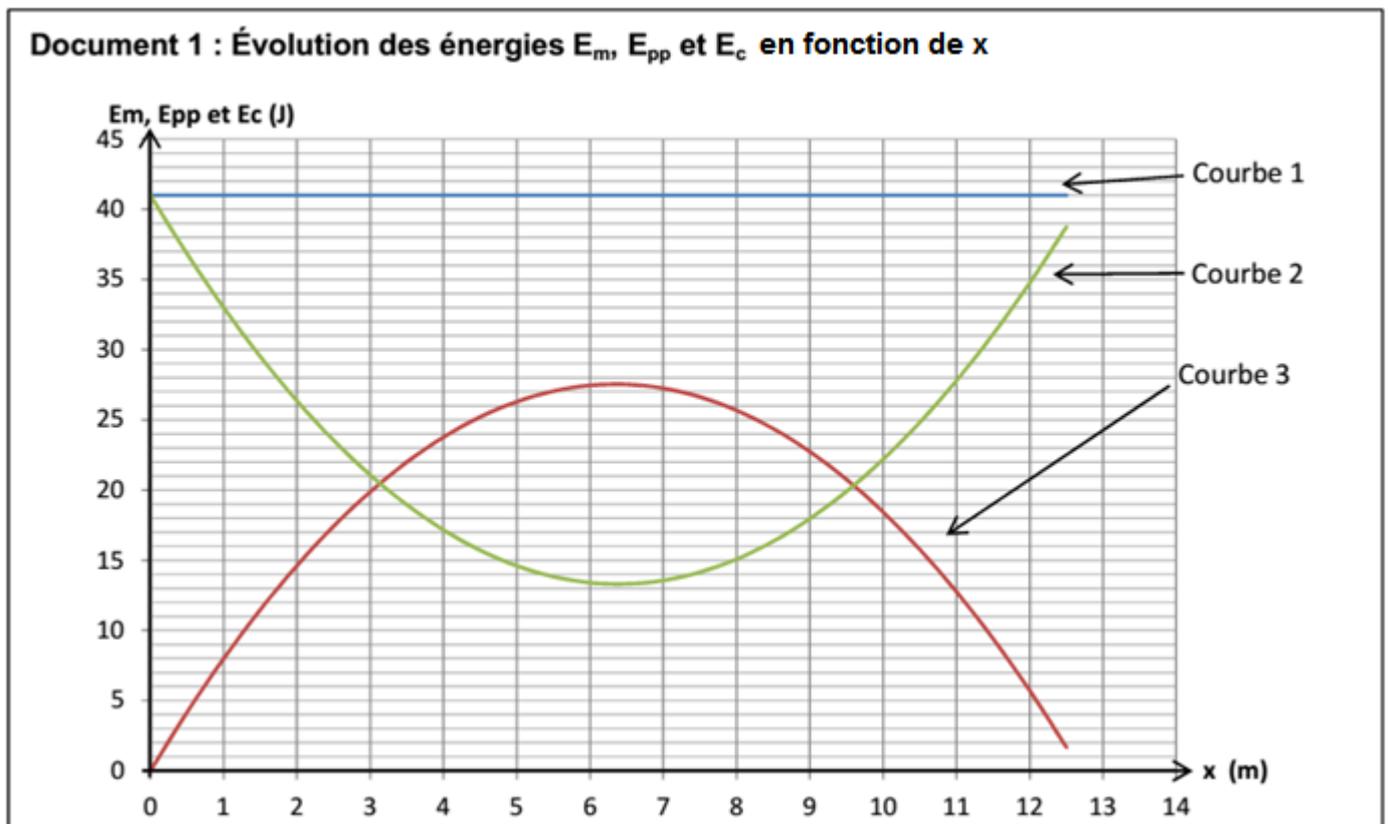
La force de frottements de l'air

5-2-2 Calculer le travail de cette force entre les points O et A.

La variation d'énergie mécanique entre deux points correspond au travail des forces non conservatives. Ici, c'est la force de frottement dissipatrice d'énergie. Son travail va être négatif.

$$W_{O \rightarrow A}(\vec{f}) = \Delta E_m = E_{mA} - E_{mO} = \frac{1}{2}mv_A^2 + mgz_A - \frac{1}{2}mv_0^2 \dots \text{ Le calcul donne } -8,2 \text{ J}$$

ANNEXE à rendre avec la copie : EXERCICE II



EXERCICE III UNE EAU OXYGENEE (6 points)

On souhaite déterminer la concentration molaire C_{com} en peroxyde d'hydrogène (ou eau oxygénée) contenu dans une solution commerciale.

Pour cela, on se propose d'étudier la réaction entre les ions iodure I^- (aq) et le peroxyde d'hydrogène H_2O_2 (aq) en milieu acide. Cette réaction est lente et totale. L'étude de la cinétique de cette réaction se fait par spectrophotométrie.

Parmi les espèces chimiques présentes dans le milieu réactionnel, seul le diiode I_2 (aq) est coloré (en jaune) en solution aqueuse.

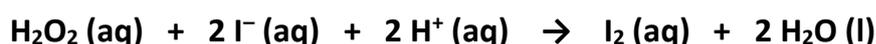
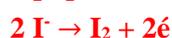
I^- (aq) et H_2O_2 appartiennent aux couples I_2 (aq) / I^- (aq) et H_2O_2 (aq) / H_2O (l).

1- Étude de la réaction d'oxydoréduction et préparation de la solution

1-1 Définir un oxydant. **Espèce chimique capable /susceptible/qui se transforme en fixant/acceptant un ou plusieurs électrons.**

1-2 Ecrire les demi-équations d'oxydoréduction des deux couples étudiés et montrer que l'équation de la réaction s'écrit :

On peut décider d'entrée d'écrire la demi-équation de réduction de H_2O_2 et la demi-équation d'oxydation de I^- (dans les sens prévus par la transformation observée) :



1-3 Comment évolue la coloration de la solution au cours du temps ? Justifier.

La seule espèce colorée est ici le diiode I_2 , c'est un produit de la réaction, nous observerons donc une coloration (brunissement) de plus en plus intense de la solution.

1-4 Avant de faire réagir la solution commerciale d'eau oxygénée, on souhaite la diluer d'un facteur 10. Calculer, en justifiant, le volume V_1 de solution mère à prélever.

Solution mère : V_1 mL prélevés, concentration c_{com} , n mol de $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$.

Solution diluée : V_2 mL, concentration $c_2 = \frac{c_{\text{com}}}{10}$, n mol de $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$.

Donc : $c_{\text{com}} V_1 = c_2 V_2$ $V_1 = \frac{V_2}{10} = 5,0 \text{ mL}$

Décrire les principales étapes du protocole opératoire afin de préparer $V_2 = 50,0 \text{ mL}$ d'une solution d'eau oxygénée de concentration molaire $C_2 = \frac{C_{\text{com}}}{10}$

Verrerie disponible :

- béchers de 75 mL et de 150 mL ; - pipettes jaugées de 5,0 mL, 10,0 mL et de 20,0 mL ;

- éprouvettes graduées de 50 mL et de 125 mL ;

- fioles jaugées de 50,0 mL, 100,0 mL et de 250,0 mL ; - erlenmeyer de 250 mL.

Prélèvement des 5,0 mL de solution mère : pipette jaugée.

Réalisation de la solution fille dans une fiole jaugée de 50,0 mL

On complète avec de l'eau déminéralisée.

Sans oublier de bien homogénéiser au $\frac{3}{4}$ du remplissage.

Sans oublier d'essuyer le col au-dessus du trait après avoir ajusté et avant une dernière homogénéisation.

2- Étude de la réaction chimique par spectrophotométrie

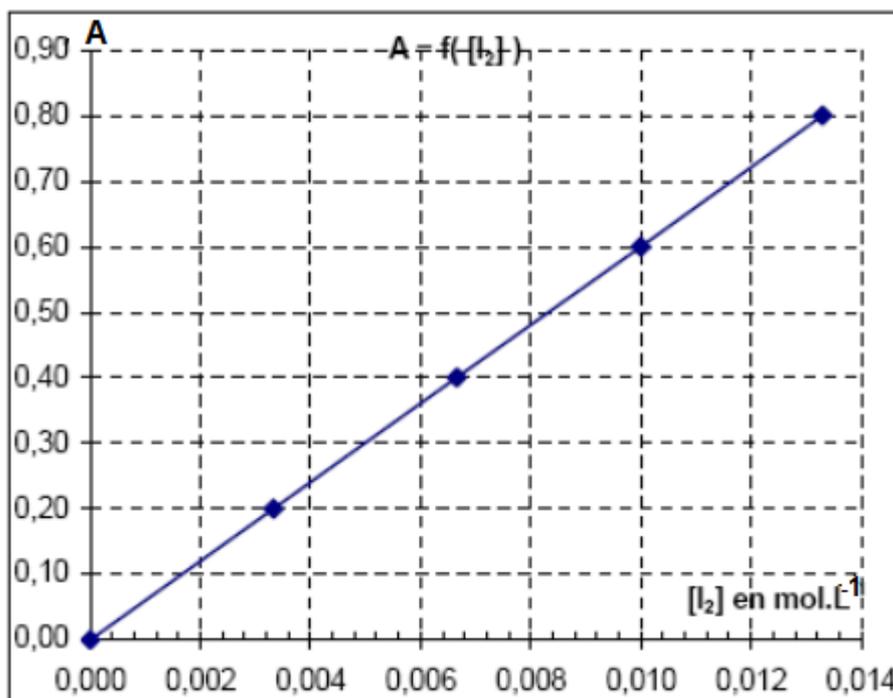
2-1 On utilise le spectrophotomètre pour réaliser la mesure de l'absorbance de solutions aqueuses de diiode de concentrations molaires connues. On obtient le graphe ci-après.

2-1-1 Quelle est l'allure de la courbe ? Que peut-on en conclure ?

Une droite qui passe par l'origine ! Une relation linéaire ! A est proportionnelle à $[I_2]$.

2-1-2 L'équation de la courbe s'écrit : **$A = k \times [I_2]$ (1)**. Calculer la valeur de k en précisant son unité.

On réalise une détermination de coefficient directeur classique avec deux points de la droite (ou même un seul, puisque la droite passe par (0, 0) qui est un des deux points : on trouve $k = 0,60/0,0010 = 60 \text{ L}\cdot\text{mol}^{-1}$.



2-2 A une date $t = 0 \text{ s}$, on mélange, dans un bécher, une solution d'iodure de

potassium ($K^+ (\text{aq}) + I^- (\text{aq})$) de volume $V_1 = 25,0 \text{ mL}$ de concentration molaire $C_1 = 5,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ et acidifiée (les ions $H^+(\text{aq})$ seront considérés en large excès) à une solution d'eau oxygénée de volume $V_2 = 50,0 \text{ mL}$ et de concentration molaire inconnue C_2 . On verse alors rapidement un faible volume (négligeable devant V_1 et V_2) de ce mélange réactionnel dans une cuve qu'on introduit dans le spectrophotomètre.

2-2-1 Compléter le tableau d'avancement de la transformation étudiée, **en ANNEXE EXERCICE III à rendre avec la copie.**

Equation de la réaction	$\text{H}_2\text{O}_2 (\text{aq}) + 2 \text{I}^- (\text{aq}) + 2 \text{H}^+ (\text{aq}) \rightarrow \text{I}_2 (\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O} (\text{l})$				
Etat initial Quantité de matière (mol)	C_2V_2	C_1V_1	Excès	0	Excès
En cours de transformation Quantité de matière (mol)	$C_2V_2 - X$	$C_1V_1 - 2X$	Excès	X	Excès
Etat final Quantité de matière (mol)	$C_2V_2 - X_{\text{max}}$	$C_1V_1 - 2X_{\text{max}}$	Excès	X_{max}	Excès

2-2-2 Quelle relation littérale existe-t-il entre l'avancement x et la concentration molaire $[\text{I}_2]$ en diiode dans le mélange réactionnel à une date t ?

$[\text{I}_2] = \frac{x}{V_1+V_2}$ (2) (si on admet que le volume de solution V_{sol} vaut exactement $V_1 + V_2$, ce qui en réalité se discute lorsque l'on mélange des liquides miscibles différents...)

2-2-3 En déduire que : $A = \frac{k \cdot x}{V_1+V_2}$ (3)

Evident en combinant les relations (1) et (2).

2-2-4 En supposant que l'ion iodure est le réactif limitant, quelle valeur numérique l'avancement devrait-il prendre lorsque le système chimique atteindra son état final ?

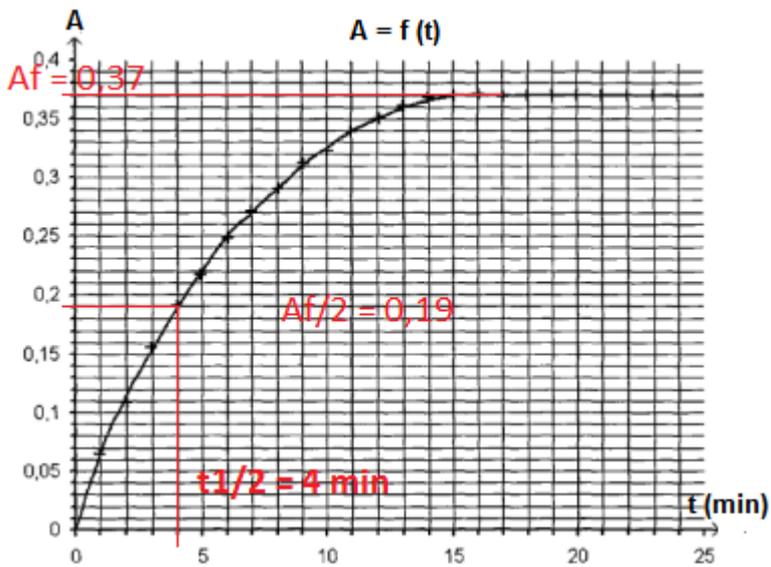
Si l'ion iodure est le réactif limitant, alors $C_1V_1 - 2x_{\text{max}} = 0$, soit $x_{\text{max}} = 6,3 \times 10^{-4} \text{ mol}$

En déduire la valeur finale de l'absorbance notée A_{final} .

Grâce à la relation (3) on trouve $A_{\text{final}} = 0,5$.

3- Exploitation de la courbe représentant l'absorbance au cours du temps

Le spectrophotomètre est relié à un ordinateur qui trace la courbe représentant l'absorbance au cours du temps ; le résultat est le suivant :



3-1 Expliquer pourquoi on peut considérer, qu'au bout de 15 minutes, le système a atteint son état final. **A partir de 15 min, la valeur de A n'évolue plus/reste constante. La concentration en diode est constante, le système a atteint son état final.**

3-2 Définir le temps de demi-réaction $t_{1/2}$. Déterminer sa valeur.

A $t = t_{1/2}$, $x = x_f / 2$

Le temps de demi-réaction est la durée au bout de laquelle l'avancement de la réaction a atteint la moitié de sa valeur finale.

Valeur voir courbe ci-dessus (4 min).

3-3 La valeur finale de l'absorbance est inférieure à la valeur trouvée à la question 2.2.4.

3-3-1 A partir de la valeur prise par l'absorbance dans l'état final, montrer que l'avancement maximal est $x_{\max} = 4,6 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$.

A partir de la relation (3) on exprime $x_{\text{final}} = A_{\text{final}} \times \frac{(V_1 + V_2)}{k} = 4,6 \times 10^{-4} \text{ mol}$.

L'hypothèse faite en 2-2-4 est-elle correcte ? En déduire la nature du réactif limitant.

Comme la réaction est annoncée comme étant totale, $x_{\text{final}} = x_{\max}$.

On a donc $x_{\max} = 4,6 \times 10^{-4} \text{ mol} < 6,3 \times 10^{-4} \text{ mol}$: on s'est trompé de réactif limitant !

3-3-2 Déterminer la valeur de la concentration molaire C_2 de la solution d'eau oxygénée puis en déduire la concentration molaire C_{com} de la solution commerciale.

On a donc $c_2 V_2 - x_{\max} = 0$, soit $c_2 = \frac{x_{\max}}{V_2} = 9,2 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$

$C_{\text{com}} = 10 \times c_2 = 9,2 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$

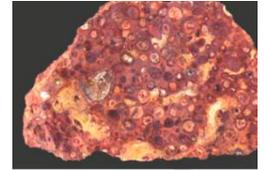
EXERCICE III PURIFICATION D'UN MINÉRAI ET PRODUCTION D'ALUMINIUM (6 points)

L'aluminium, découvert en 1827, est un élément chimique de symbole Al. C'est un métal léger, très utilisé dans des domaines divers (architecture, automobile etc.), malléable, de couleur argent, qui est remarquable pour sa résistance à l'oxydation et sa faible densité.

On désire étudier comment le minerai est purifié puis comment le métal est produit.

Document 1 : Méthode de purification de la bauxite

La bauxite est le minerai naturel extrait du sol utilisé pour produire l'alumine $Al_2O_3(s)$ dont l'électrolyse à l'état fondu permet d'obtenir l'aluminium $Al(s)$.



Cristaux de bauxite.

La purification de la bauxite a pour but de séparer l'alumine $Al_2O_3(s)$ des impuretés $Fe_2O_3(s)$ et de $SiO_2(s)$.

La bauxite est constituée en masse de 58 % d'alumine $Al_2O_3(s)$, de 20 % d'oxydes de fer $Fe_2O_3(s)$ et de 22 % de silice $SiO_2(s)$.

L'action de la soude ($Na^+(aq)$; $OH^-(aq)$) sur l'alumine $Al_2O_3(s)$ conduit à un ion complexe soluble dans l'eau : $[Al(OH)_4]^-(aq)$.

L'action d'une solution de soude ($Na^+(aq)$; $OH^-(aq)$) sur l'oxyde de fer $Fe_2O_3(s)$ et la silice $SiO_2(s)$ est sans effet.

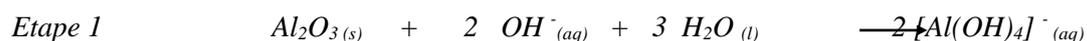
La première étape de la purification consiste à faire agir de la soude sur le minerai puis à

recupérer uniquement la phase liquide aqueuse par filtration. Dans une seconde étape,

l'action de l'acide chlorhydrique ($H^+(aq)$; $Cl^-(aq)$) sur la phase liquide précédente permet de

former l'hydroxyde d'aluminium $Al(OH)_3(s)$; enfin, une troisième étape de déshydratation par chauffage de l'hydroxyde d'aluminium $Al(OH)_3(s)$ redonne l'alumine $Al_2O_3(s)$.

Les équations utiles s'écrivent :

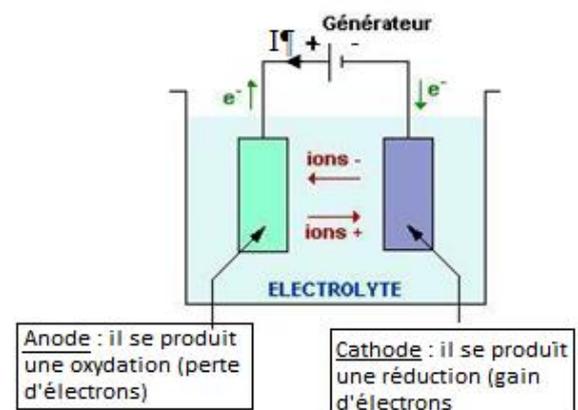


Document 2 : Principe d'une électrolyse d'un électrolyte contenant des ions métalliques M^{n+}

L'électrolyse est un procédé qui consiste à faire passer un courant continu dans un milieu appelé électrolyte contenant des ions mobiles qui permettent le passage du courant électrique.

Circulation du courant électrique : les électrons ne peuvent pas circuler librement dans les électrolytes et les ions ne peuvent pas circuler librement dans les fils métalliques.

Dans la mesure où le dispositif est relié à un générateur délivrant du courant sous la forme d'une circulation d'électrons dans des fils métalliques conducteurs, il se réalise aux électrodes des processus de fixation ou de création d'électrons, ainsi que d'assimilation ou de création d'ions.



Une réaction d'oxydoréduction différente est alors observée à chaque électrode (anode et cathode) où se déroulent les échanges d'électrons.

Cette technique est souvent utilisée lorsque l'on désire déposer un métal M sur une électrode.

A la cathode, les ions métalliques M^{n+} présents en solution subissent une réduction selon l'équation :



A l'anode, on observe l'oxydation d'une espèce chimique qui est différente suivant les conditions de l'expérience (nature de l'électrode par exemple).

On remarquera, d'après la demi-équation ci-dessus, que pour 1 mole de métal $M (s)$ fabriqué, n moles d'électrons ont circulé.

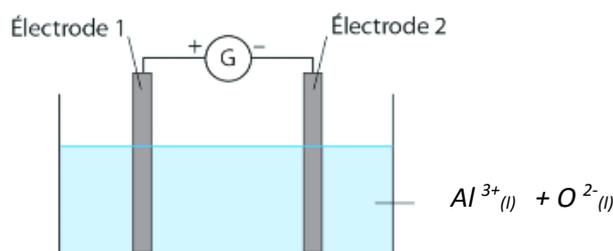
Document 3 : Production du métal aluminium à partir de l'alumine $Al_2O_3 (s)$, fondue

L'électrolyse à $950^{\circ}C$ de l'alumine extraite de la bauxite permet de fabriquer l'aluminium métallique $Al (s)$.

A $950^{\circ}C$, l'alumine $Al_2O_3 (s)$ fond et se dissocie en ions $Al^{3+ (l)}$ et $O^{2- (l)}$.



Le montage est le suivant :



L'équation bilan de l'électrolyse est : $2 Al^{3+ (l)} + 3 O^{2- (l)} \longrightarrow 2 Al (s) + 3/2 O_{2(g)}$

Les couples Ox/Red mis en jeu ici sont : $Al^{3+ (l)} / Al (s)$ et $O_{2(g)} / O^{2- (l)}$

I- Questions sur les documents

1- Décrire l'action de la soude sur la bauxite et dire pourquoi elle permet la séparation des impuretés.

On précisera sous quel état physique se trouvent les impuretés et l'utilité de la filtration.

L'apport d'ions hydroxyde HO^{-} par la soude provoque la formation de l'ion $Al(OH)_4^{-}$ soluble dans l'eau. Les oxydes des autres éléments (Fe, Si) ne sont pas modifiés et restent à l'état solide. Une filtration permettra de séparer l'aluminium (dans le filtrat sous la forme $Al(OH)_4^{-(aq)}$) du reste.

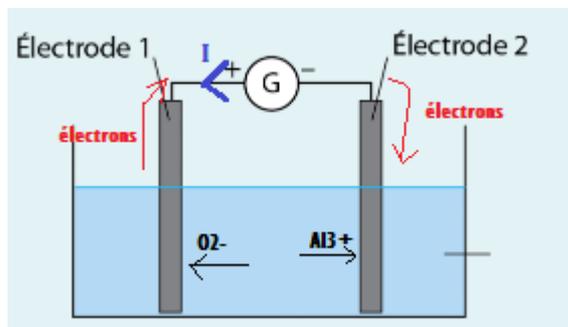
2- Justifier l'ajout de l'acide chlorhydrique.

L'acide chlorhydrique permet d'obtenir $Al(OH)_3$ solide qui précipite au sein du filtrat précédemment récupéré.

3- Justifier la nécessité du chauffage à la troisième étape.

Ce chauffage provoque une déshydratation (élimination d'eau) de l'hydroxyde $\text{Al}(\text{OH})_3$ en oxyde Al_2O_3 ($2 \text{Al}(\text{OH})_3 \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + 3 \text{H}_2\text{O}$).

4- Reproduire le schéma de l'électrolyse du **document 3** en précisant le sens de circulation des électrons et celui du courant I conventionnel.



5- Ecrire les demi-équations électroniques relatives aux couples $\text{Al}^{3+}_{(l)} / \text{Al}_{(s)}$ et $\text{O}_{2(g)} / \text{O}^{2-}_{(l)}$



6- A quelle électrode se forme le métal aluminium $\text{Al}_{(s)}$? Justifier.

Si $\text{Al}_{(s)}$ se forme, c'est d'après la question précédente, par réduction d'ions Al^{3+} , c'est donc sur l'électrode par laquelle des électrons arrivent du générateur (pour se combiner aux Al^{3+} qui arrivent de l'électrolyte) : électrode 2.

II- Problème

Données :

Masses molaires : $M(\text{NaOH}) = 40,0 \text{ g.mol}^{-1}$; $M(\text{Al}_2\text{O}_3) = 102 \text{ g.mol}^{-1}$; $M(\text{Al}_{(s)}) = 27,0 \text{ g.mol}^{-1}$

Une mole d'électrons porte une quantité d'électricité correspondant à un faraday noté F :

$$1 F = 96\,500 \text{ C.mol}^{-1}$$

L'intensité I (en A) d'un courant électrique peut s'exprimer en fonction de la quantité d'électricité Q (en C) échangée au cours de la réaction pendant une durée Δt (en s) :

$$I = \frac{Q}{\Delta t}$$

Énoncé du problème

Les questions sont indépendantes.

On considère pour simplifier que le rendement de l'électrolyse est de 100 %.

Un industriel désire fabriquer 1,5 tonnes d'aluminium $\text{Al}_{(s)}$ à partir de minerai de bauxite.

La durée de l'électrolyse est de 5,0 jours.

1- Quelle masse de bauxite doit-il acheter ?

L'oxyde d'aluminium présent dans la bauxite est l'alumine Al_2O_3 . Sa stoechiométrie (2 atomes d'Al par molécule d' Al_2O_3) permet de comprendre qu'avec 1 mol d'alumine on pourra obtenir 2 mol d'Al. Ou à l'envers : si on forme n mol d'Al, c'est qu'on disposait de $\frac{n}{2}$ mol de Al_2O_3 .

$$1,5 \text{ tonnes d'Al, c'est } \frac{1,5 \times 10^6}{M_{\text{Al}}} = \frac{1,5 \times 10^6}{27,0} = 5,6 \times 10^4 \text{ mol d'Al}$$

Nous avons donc besoin de $2,8 \cdot 10^4$ mol d' Al_2O_3 , soit une masse $m = 2,8 \cdot 10^4 \times M_{\text{alumine}} = 2,86 \times 10^6 \text{ g}$
(2,86 tonnes)

L'alumine ne représente que 58 % de la bauxite, nous avons donc besoin de $\frac{2,86}{0,58} = 4,9$ tonnes de bauxite.

2- Déterminer la valeur de l'intensité I du courant à fixer lors de cette électrolyse.

L'obtention de $5,6 \times 10^4$ mol d'Al se fait à la cathode selon la réaction : $\text{Al}^{3+} + 3 \text{ e}^- \rightarrow \text{Al}$

Elle nécessite donc 3 fois plus d'électrons : $3 \times 5,6 \times 10^4 = 1,68 \times 10^5$ mol d'électrons.

Ce qui correspond à une quantité d'électricité Q en coulomb : $Q = 1,68 \times 10^5 \times 96500 = 1,62 \times 10^{10} \text{ C}$

L'intensité I vaut donc (avec Δt (5 jours) convertie en seconde (5×86400)) : $I = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{1,62 \times 10^{10}}{4,32 \times 10^5} = 3,7 \times 10^4 \text{ A}$

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et nécessite d'être correctement présentée.