

ENTRAÎNEMENT AU BACCALAURÉAT

Lycée International des Pontonniers - Strasbourg

SESSION 2022

PHYSIQUE-CHIMIE

GROUPE TSPEG _SPC

DURÉE DE L'ÉPREUVE : 3h30

L'usage des calculatrices est autorisé

Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré.

Ce sujet comporte trois exercices présentés sur 9 pages numérotées de 1 à 9, y compris celle-ci.

Le candidat doit traiter les trois exercices qui sont indépendants les uns des autres :

- I. Un sport traditionnel : le lancer de gerbe de paille (10 points)
- II. L'acide lactique et le lactate d'éthyle (5 points)
- III. Protection des fondations en acier des éoliennes en mer (5 points)

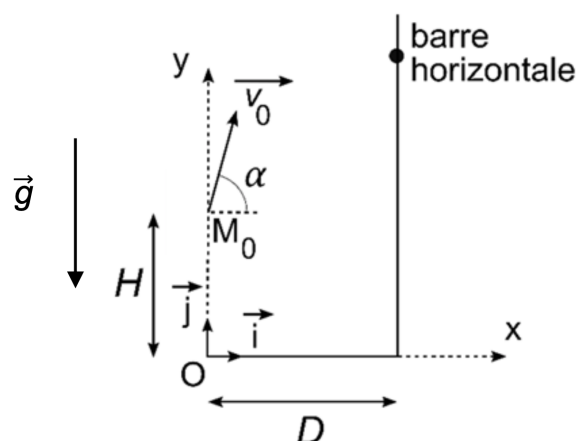
EXERCICE I (10 POINTS)

UN SPORT TRADITIONNEL : LE LANCER DE GERBE DE PAILLE

Les trois parties de cet exercice sont indépendantes.

Le lancer de gerbe de paille est une activité sportive, issue du domaine agricole, qui se pratique aujourd'hui en compétition. Le but du jeu est de lancer, à l'aide d'une fourche, une gerbe de paille, assimilable à un parallélépipède rectangle de longueur 0,60 m, de largeur 0,40 m et d'épaisseur 0,40 m, au-dessus d'une barre horizontale placée à une hauteur bien précise.

On modélise la situation en compétition de la manière suivante, les échelles de longueur n'étant pas respectées sur le schéma ci-dessous à droite :



1. Étude du lancer

- La gerbe de paille de masse $m = 7,257 \text{ kg}$ est assimilée à un point matériel M correspondant à son centre de masse ;
- À l'instant initial, M se trouve au point M_0 tel que $OM_0 = H = 2,80 \text{ m}$;
- Le lanceur se trouve à la distance $D = 2,0 \text{ m}$ de la base des supports de la barre horizontale ;
- L'étude débute à $t = 0$ quand la gerbe de paille vient de quitter la fourche (au point M_0) avec une vitesse initiale représentée par le vecteur vitesse \vec{v}_0 incliné d'un angle $\alpha = 80^\circ$ par rapport à l'horizontale. La valeur de la vitesse initiale est $v_0 = 9,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;
- On suppose que la trajectoire de M s'effectue dans le plan (xOy) ;
- La barre horizontale est à une hauteur de $4,50 \text{ m}$ par rapport au sol ;
- Les actions de l'air sont négligées devant les autres actions mécaniques ;
- Le champ de pesanteur, considéré uniforme, a une intensité $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

On étudie le mouvement de M dans le référentiel terrestre dont le repère (O, x, y) est défini sur le schéma introductif.

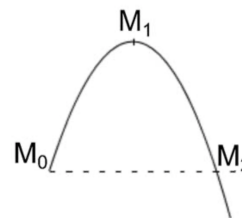
- 1.1. Utiliser la deuxième loi de Newton pour déterminer les coordonnées $a_x(t)$ et $a_y(t)$ du vecteur accélération du point M .
- 1.2. Montrer que les équations horaires du mouvement de M s'expriment sous la forme :

$$x(t) = v_0 \cdot t \cdot \cos \alpha$$

$$y(t) = -\frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 + v_0 \cdot t \cdot \sin \alpha + H$$

- 1.3. En déduire l'équation de la trajectoire $y(x)$ du point M .
- 1.4. À l'aide d'une analyse quantitative, indiquer si la gerbe de paille franchira, ou pas, la barre horizontale.

On s'intéresse à trois positions particulières de M sur sa trajectoire parabolique : la position initiale M_0 , le point M_1 au sommet de la trajectoire et le point M_2 à la même hauteur que M_0 par lequel passe M lors de la phase descendante du mouvement.



L'énergie potentielle de pesanteur est choisie nulle au niveau du sol.

- 1.5. Calculer la valeur de l'énergie cinétique et celle de l'énergie potentielle de pesanteur du système en M_0 .
- 1.6. Indiquer par un raisonnement détaillé si chacune des trois propositions suivante est vraie ou fausse lorsque l'on néglige les actions de l'air.

Proposition I : l'énergie mécanique est maximale en M_0 .

Proposition II : l'énergie cinétique est nulle en M_1 .

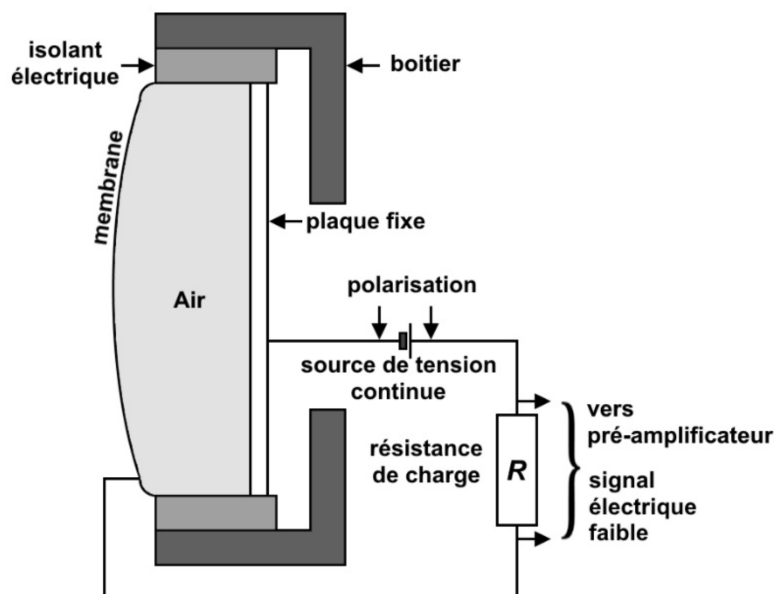
Proposition III : l'énergie cinétique en M_2 est inférieure à l'énergie cinétique en M_0 .

- 1.7. En réalité, les actions de l'air ne peuvent pas être négligées.
Indiquer par un raisonnement détaillé si chacune des propositions de la question précédente reste vraie, ou fausse, lorsqu'on ne néglige plus les actions de l'air.

2. Le microphone de l'animateur

L'animateur de la compétition du lancer de gerbe de paille utilise un microphone relié à une enceinte acoustique par l'intermédiaire d'un amplificateur de puissance.

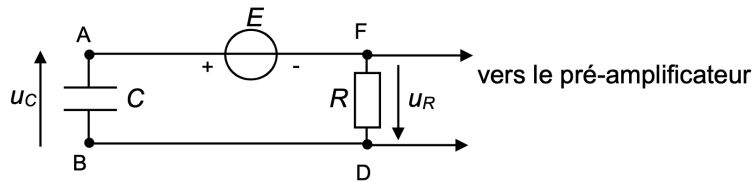
Le microphone utilisé lors de la compétition est un transducteur électroacoustique. Il permet de convertir un signal acoustique en un signal électrique. Le schéma de principe du microphone est représenté ci-dessous :



Le condensateur présent dans le microphone est formé de deux armatures. La première est constituée d'une membrane mobile en plastique recouverte d'une fine pellicule métallique. La seconde est constituée d'une plaque métallique fixe. Lorsque le microphone ne capte pas de son, la distance entre les deux armatures est de l'ordre de 15 à 25 μm .

En outre, pour fonctionner, le condensateur doit être chargé. On insère donc une source de tension continue qui n'a pas d'effet sur le signal électrique de sortie envoyé vers le pré-amplificateur.

On modélise alors le microphone par le circuit électrique représenté sur le schéma suivant.



Tension continue délivrée par la source idéale de tension : $E = 48 \text{ V}$

Résistance du conducteur ohmique de charge : $R = 100 \times 10^6 \Omega$

Capacité du condensateur : C

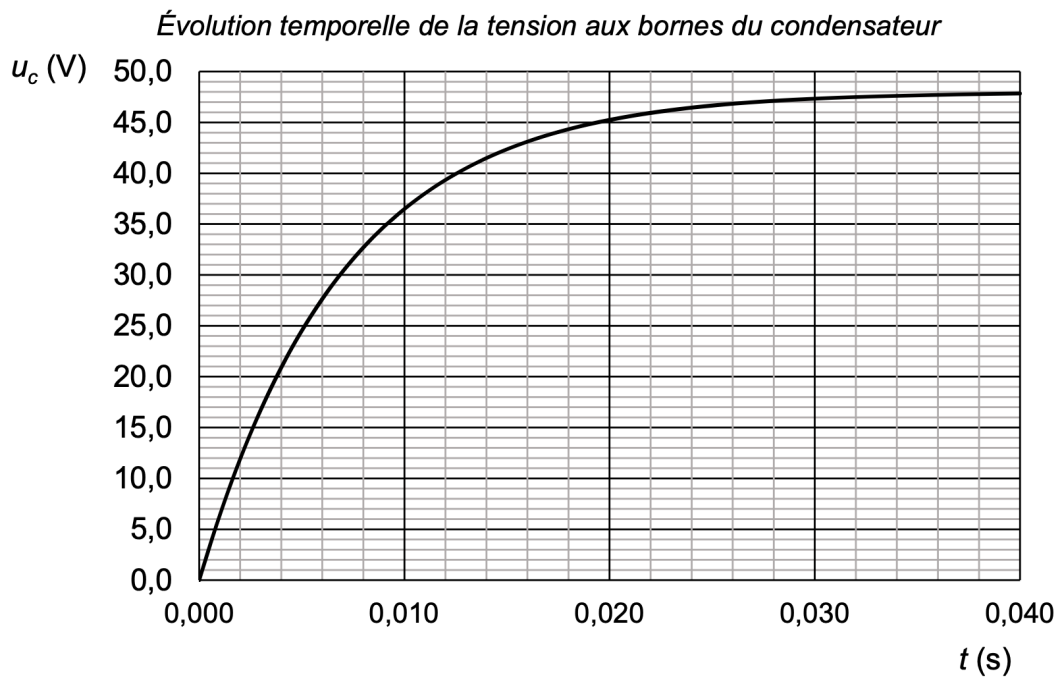
Pour fonctionner, le condensateur doit rester chargé. On étudie la phase de charge, le microphone ne captant pas de son.

2.1. Établir la relation entre la tension E aux bornes de la source de tension idéale, la tension $u_C(t)$ aux bornes du condensateur et la tension $u_R(t)$ aux bornes du conducteur ohmique.

2.2. Montrer que l'équation différentielle vérifiée par la tension $u_C(t)$ lors de la charge est de la forme :

$$E = R \times C \times \frac{du_C(t)}{dt} + u_C(t)$$

Grâce à un dispositif approprié, on mesure la tension $u_C(t)$ aux bornes du condensateur lors de sa charge. On obtient la courbe suivante.



Cette courbe peut être modélisée par l'une des trois fonctions mathématiques proposées ci-dessous :

Fonction 1 : $u_C(t) = E \times \left(1 - e^{-\frac{t}{R \times C}}\right)$

Fonction 2 : $u_C(t) = E \times e^{-\frac{t}{R \times C}}$

Fonction 3 : $u_C(t) = E \times \left(1 - e^{-\frac{t}{R \times C}}\right)$

2.3. En exploitant la courbe, indiquer par un raisonnement argumenté la fonction qui modélise la charge du condensateur.

2.4. Vérifier que la fonction retenue est solution de l'équation différentielle établie précédemment.

La capacité C d'un condensateur plan constitué de deux armatures métalliques de surface S en regard l'une de l'autre, séparées d'une distance d , est donnée par la relation $C = \epsilon \cdot \frac{S}{d}$ avec ϵ la permittivité de l'air entre les deux armatures du condensateur. Pour le microphone étudié, le produit de la permittivité de l'air par la surface S est $\epsilon \cdot S = 1,4 \times 10^{-15} \text{ F} \cdot \text{m}$.

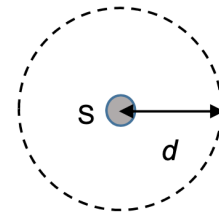
- 2.5.** En exploitant la courbe et en explicitant le raisonnement, déterminer la valeur de la distance d séparant les deux armatures quand le microphone fonctionne mais qu'il ne capte pas de son.

Sous l'effet des ondes sonores émises par l'animateur, la membrane se déplace en entraînant une modification de la distance entre les armatures du condensateur. La tension de sortie envoyée vers le pré-amplificateur est alors l'image des ondes sonores captées par le microphone.

- 2.6.** Justifier par un raisonnement détaillé l'évolution de la capacité du condensateur lorsque la distance séparant les deux armatures diminue.

3. L'enceinte

Une source S , émettant des ondes sonores de puissance P est isotrope si elle émet la même quantité d'énergie dans toutes les directions. L'intensité sonore mesurée, notée I , dépend alors de la distance d à la source selon la relation $I = \frac{P}{4 \cdot \pi \cdot d^2}$ avec I en $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$, P en W et d en m .



Le niveau d'intensité sonore, noté L , est lié à l'intensité sonore par la relation $L = 10 \cdot \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$ avec L exprimé en dB , I en $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ et $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

Le microphone est relié, par l'intermédiaire d'un amplificateur de puissance, à une enceinte.

L'intensité sonore mesurée à $1,0 \text{ m}$ devant l'enceinte vaut $I_1 = 3,2 \times 10^{-3} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

- 3.1.** Calculer le niveau d'intensité sonore L_1 correspondant à l'intensité sonore I_1 .

La législation européenne indique les durées limites d'exposition journalière à ne pas dépasser à certains niveaux d'intensité sonore pour ne pas engendrer des traumatismes irréversibles :

L (dB)	86	92	95	101	107
Durée limite d'exposition	2 h/jour	30 min/jour	15 min/jour	4 min/jour	1 min/jour

- 3.2.** Commenter le résultat de la question précédente au regard de ces durées limites d'exposition journalière.

- 3.3.** Montrer que la puissance P de l'enceinte est égale à $4,0 \times 10^{-2} \text{ W}$.

Les organisateurs de la manifestation sportive, d'une durée de 2 h , ont fixé à $2,0 \times 10^{-4} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ la valeur maximale de l'intensité sonore perçue par les spectateurs.

- 3.4.** Expliquer le choix des organisateurs de fixer à $2,0 \times 10^{-4} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ la valeur maximale de l'intensité sonore perçue par les spectateurs.

Des barrières de sécurité entourent l'enceinte à $3,0 \text{ m}$ de celle-ci pour éviter que les spectateurs n'en soient trop proches.

- 3.5.** Indiquer, par un raisonnement quantitatif, si la distance de sécurité entre les barrières et l'enceinte est suffisante pour respecter la valeur maximale de $2,0 \times 10^{-4} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ choisie par les organisateurs.

EXERCICE II (5 POINTS) L'ACIDE LACTIQUE ET LE LACTATE D'ÉTHYLE

Les deux parties de cet exercice sont indépendantes.

L'acide lactique, obtenu par fermentation du glucose par exemple, est à la base de nombreux dérivés utilisés dans l'industrie, proposant ainsi une alternative à la pétrochimie.

L'un de ces dérivés, le lactate d'éthyle, est un ester ; il est utilisé comme additif alimentaire, dissolvant pour vernis, dégraissant de pièces métalliques, etc.

Données :

Formule semi-développée de l'acide lactique : $\text{CH}_3 - \text{CHOH} - \text{COOH}$

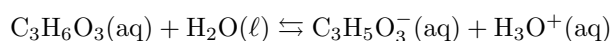
Masse molaire de l'acide lactique : $M = 90,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

1. L'acide lactique

1.1. Donner le schéma de Lewis de l'acide lactique et sa base conjuguée, l'ion lactate.

On souhaite mesurer le pK_A du couple acide lactique/ion lactate.

L'équation de la réaction modélisant la transformation acido-basique entre l'acide lactique et l'eau est :



1.2. Identifier les deux couples acide-base mis en jeu dans cette transformation.

1.3. Montrer que la constante d'acidité K_A du couple de l'acide lactique peut s'exprimer sous la forme :

$$K_A = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}}^2}{(C - [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}}) \cdot c^\circ}$$

avec C la concentration en acide apporté et $c^\circ = 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ la concentration standard.

On mesure le pH d'une solution aqueuse d'acide lactique, de concentration en acide apporté $C = 8,00 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. On obtient $pH = 3,03$.

1.4. Calculer la concentration en quantité de matière d'ions oxonium H_3O^+ de cette solution.

1.5. Justifier que l'acide lactique n'est pas un acide fort.

1.6. En déduire la valeur de la constante d'acidité K_A puis la valeur du pK_A du couple de l'acide lactique.

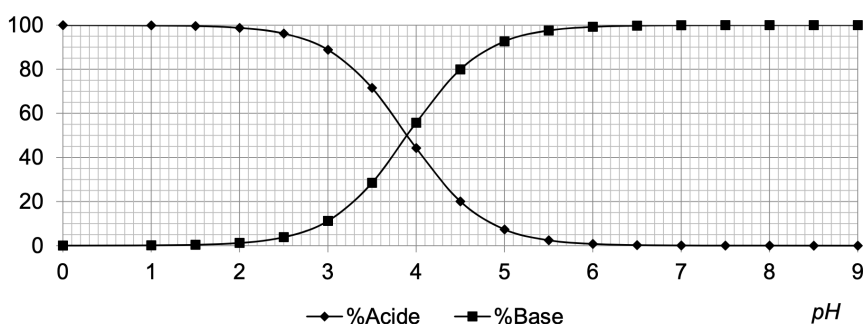
On effectue une série de 12 mesures du pH de la solution aqueuse d'acide lactique de concentration en acide apporté $C = 8,00 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Le traitement statistique des résultats de ces mesures aboutit à une valeur moyenne du pK_A , notée pK_{Am} de 3,871667 avec une incertitude-type, notée $u(pK_A)$ de 0,026935.

1.7. Écrire, avec un nombre adapté de chiffres significatifs, le résultat de la mesure pK_{Am} .

Le diagramme de distribution suivant du couple de l'acide lactique est construit en utilisant la valeur de référence $pK_{Aref} = 3,90$ du pK_A du couple de l'acide lactique.

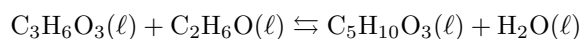
Diagramme de distribution du couple de l'acide lactique



- 1.8. Expliquer et justifier la méthode permettant de retrouver, sur le diagramme de distribution, la valeur pK_{Aref} .
- 1.9. Comparer, en prenant appui sur un calcul, le résultat pK_{Am} de la mesure avec la valeur de référence et conclure.

2. Estérification de l'acide lactique

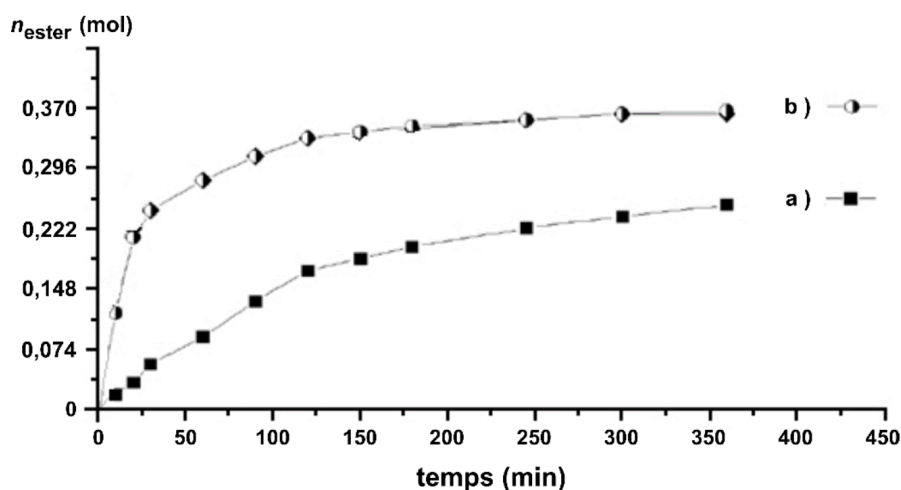
Le lactate d'éthyle peut être synthétisé à partir de l'acide lactique $C_3H_6O_3$ et de l'éthanol C_2H_6O . L'équation de la réaction d'estérification associée à cette transformation est la suivante :



Pour étudier l'influence de différents paramètres sur cette transformation, on fait réagir deux systèmes chimiques identiques de même volume mais dans des conditions différentes.

	Mélange initial	Protocole
Expérience (a)	0,741 mol d'acide lactique et 0,850 mol d'éthanol	Chauffage à reflux à 80°C
Expérience (b)	0,741 mol d'acide lactique et 0,850 mol d'éthanol et quelques gouttes d'acide sulfurique concentré	Chauffage à reflux à 80°C

Par une succession de dosages à différents instants, on peut suivre l'évolution temporelle de la transformation. On obtient alors les deux courbes suivantes :



On note V le volume du milieu réactionnel, supposé constant.

- 2.1. Exprimer la vitesse volumique v d'apparition de l'ester.
- 2.2. En analysant qualitativement la courbe (b), indiquer l'évolution de la vitesse volumique v d'apparition de l'ester.
- 2.3. En justifiant à l'aide des courbes (a) et (b), préciser le rôle joué par l'acide sulfurique.
- 2.4. Indiquer, en argumentant, si pour l'expérience (a) l'état final est atteint au bout de 350 min.

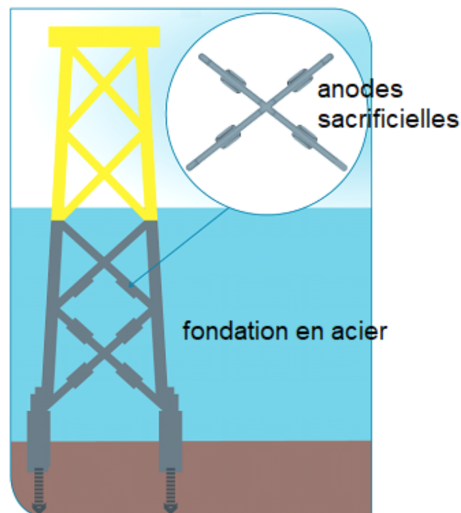
EXERCICE III (5 POINTS) PROTECTION DES FONDATIONS EN ACIER DES ÉOLIENNES EN MER

Les deux parties de cet exercice sont indépendantes.

Un projet de parc éolien en mer, celui des îles d'Yeu et de Noirmoutier, prévoit l'installation de 62 éoliennes.

La méthode de protection contre la corrosion des structures immergées de ces éoliennes a été débattue. La « protection cathodique » envisagée initialement consistait à placer des anodes dites « sacrificielles », composées essentiellement d'aluminium, sur les fondations en acier (95% de fer) des éoliennes. En effet, la réaction des anodes sacrificielles avec le dioxygène dissous dans l'eau permet, par transformation électrochimique, de protéger le fer de la corrosion.

Finalement, après concertation, le constructeur du parc lui a préféré un système de protection dit « par courant imposé » qui permet d'éviter le rejet de métaux dans l'environnement.

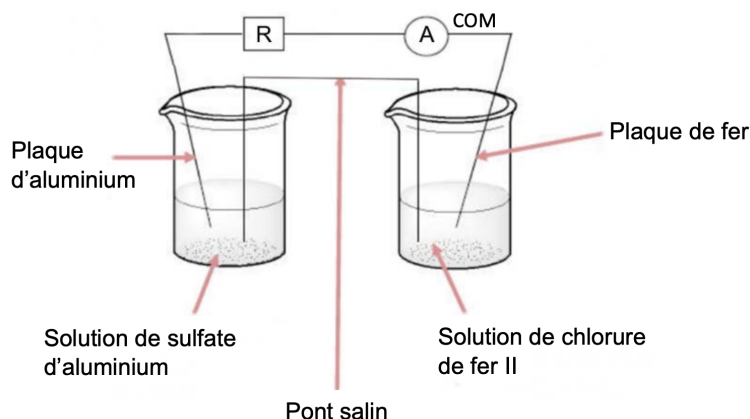


Dans cet exercice, on s'intéresse seulement au processus de protection cathodique.

1. Protection du fer par l'aluminium

On souhaite vérifier qu'en milieu oxydant, on peut protéger le fer de l'oxydation en le mettant en contact électrique avec de l'aluminium qui joue alors le rôle d'anode sacrificielle. Par oxydation, le fer métallique donne des ions Fe^{2+} et l'aluminium métallique donne des ions Al^{3+} .

On réalise la pile suivante :

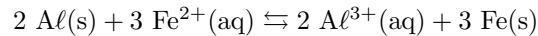


Dans un premier becher, on verse un volume $V_1 = 50,0 \text{ mL}$ de solution aqueuse de chlorure de fer II ($\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{Cl}^{-}(\text{aq})$) de concentration apportée en quantité de matière $C_1 = 1,0 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ puis on y plonge une plaque de fer.

Dans un second becher, on verse un volume $V_2 = 50,0 \text{ mL}$ de solution aqueuse de sulfate d'aluminium ($2 \text{Al}^{3+}(\text{aq}) + 3 \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$) de concentration apportée en quantité de matière $C_2 = 5,0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ puis on y plonge une plaque d'aluminium.

Les deux bechers sont reliés par un pont salin et les deux plaques métalliques sont reliées par un ampèremètre et une résistance montés en série.

L'équation de la réaction qui modélise la transformation susceptible de se produire s'écrit :



La constante d'équilibre K associée à cette réaction à 25°C est égale à 10^{166} .

1.1. Exprimer le quotient de réaction initial $Q_{r,i}$.

1.2. Calculer, à l'état initial, la valeur de la concentration en quantité de matière des ions Al^{3+} et celle des ions Fe^{2+} .

1.3. Calculer la valeur du quotient de réaction initial $Q_{r,i}$ puis en déduire le sens d'évolution spontanée de la transformation.

1.4. En déduire la réaction se produisant à l'électrode d'aluminium.

L'ampèremètre figurant sur le schéma indique une valeur d'intensité du courant électrique négative.

1.5. Montrer que cette valeur négative est cohérente avec la réponse à la question précédente.

L'anode est l'électrode siège d'une oxydation. La cathode est l'électrode siège d'une réduction.

1.6. Identifier l'électrode qui joue le rôle d'anode dans la pile.

2. Masse d'aluminium nécessaire à la protection de la structure métallique d'une éolienne

Le dioxygène dissous dans l'eau réagit préférentiellement avec l'aluminium de l'anode sacrificielle plutôt qu'avec le fer de la structure immergée de l'éolienne.

On souhaite évaluer la masse d'aluminium nécessaire à la protection de la structure d'une éolienne, c'est-à-dire à la protection cathodique.

Données :

- Couples oxydant/réducteur mis en jeu : $\text{Al}^{3+}(\text{aq})/\text{Al(s)}$; $\text{O}_2(\text{aq})/\text{HO}^-(\text{aq})$
- Demi-équation du couple $\text{O}_2(\text{aq})/\text{HO}^-(\text{aq})$: $\text{O}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\ell) + 4 \text{e}^- = 4 \text{HO}^-(\text{aq})$
- Constante de Faraday : $F = 96,5 \times 10^3 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$
- Constante d'Avogadro : $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
- Charge élémentaire : $e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$
- Masse molaire de l'aluminium : $M_{\text{Al}} = 27,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
- La capacité électrique Q d'une pile est reliée à l'intensité I du courant électrique débité et à la durée de fonctionnement Δt par la relation : $Q = I \times \Delta t$

2.1. Écrire l'équation de la réaction modélisant la transformation chimique de corrosion de l'aluminium par le dioxygène dissous.

L'étude théorique des transferts d'électrons entre l'anode en aluminium et la structure d'une éolienne montre qu'une protection efficace correspond à un courant électrique d'intensité I de l'ordre de 400 A.

2.2. En explicitant le raisonnement, calculer la masse d'aluminium nécessaire à la « protection cathodique » pendant une durée de 25 ans.

2.3. Citer au moins deux arguments expliquant que le constructeur ait finalement renoncé à la protection par anode sacrificielle.