

BACCALAUREAT GENERAL - BLANC

SESSION 2024

Mercredi 20 mars

Spécialité PHYSIQUE – CHIMIE

DUREE DE L'EPREUVE : 3h30

L'usage de la calculatrice est autorisé.

Ce sujet comporte trois exercices présentés sur pages numérotées de 1 à 12 y compris celle-ci.

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

L'annexe p.12 est à rendre avec la copie

EXERCICE I : Autour de Saturne

La planète Saturne, connue pour ses anneaux, compte pas moins de 80 satellites naturels ou « lunes ».

La plus grande de ces lunes, Titan, n'est pas visible à l'œil nu. Elle a été découverte en 1655 par Christian Huygens (1629-1695) grâce à une lunette astronomique de sa conception.

L'une des lunes les plus proches de Saturne est Janus, découverte en 1966 par plusieurs astronomes dont le français Audouin Dollfus (1924-2010).



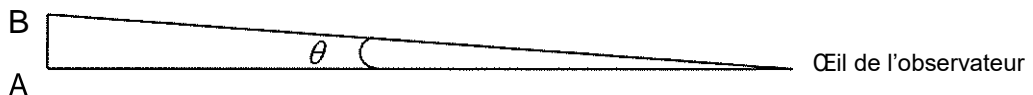
Cet exercice a plusieurs objectifs : justifier l'utilisation d'une lunette astronomique pour observer Titan (**parties A et B**), étudier les limites d'observation (**partie C**), puis étudier le mouvement des anneaux et de Janus (**partie D**).

Données :

- Diamètre apparent d'un objet et pouvoir séparateur de l'œil, **document 1**.

Document 1 — Diamètre apparent d'un objet et pouvoir séparateur

Le **diamètre apparent** d'un objet, noté θ , est l'angle sous lequel un objet AB est vu par un observateur (Cf. figure).



Le **pouvoir séparateur** de l'œil, noté ε , est la valeur minimale de l'angle θ sous lequel les deux points A et B peuvent être vus séparément. Pour l'œil humain, $\varepsilon = 3 \times 10^{-4}$ rad.

- Distance moyenne Titan – Terre : $D = 1,43 \times 10^9$ km
- Diamètre de Titan : $d = 5,2 \times 10^3$ km
- Angle sous lequel est vue la lune Janus depuis la Terre : $\theta_J = 1,3 \times 10^{-7}$ rad
- Dans tout l'exercice les angles sont suffisamment petits pour que l'on puisse faire l'approximation : $\tan \theta \approx \theta$ en radian.

Partie A – Observation de Titan à l'œil nu

A.1 Montrer que l'angle θ sous lequel se présente Titan depuis la Terre vaut approximativement $3,6 \times 10^{-6}$ rad.

A.2. Justifier que Titan n'est pas observable à l'œil nu.

A.3. En déduire la valeur de G_{min} du grossissement minimal que doit avoir un instrument d'optique, telle une lunette, pour observer Titan depuis la Terre.

Partie B – Observation de Titan à l'aide d'une lunette astronomique

Une élève se rend à l'Observatoire historique de Marseille pour observer Saturne et ses satellites. Elle fait ses observations à l'aide d'une lunette astronomique dont les caractéristiques sont données ci-dessous.

Objectif : Distance focale $f'_{ob} = 3,10$ m.

Diamètre $d_{ob} = 260$ mm.

Pour l'oculaire, trois distances focales f'_{oc} sont possibles : 12 mm, 25 mm, 40 mm.

Le schéma de principe modélisant cette lunette est présenté en ANNEXE PAGE 12/12 À RENDRE AVEC LA COPIE. L'objet $A^\infty B^\infty$ observé est situé à l'infini, il est perpendiculaire à l'axe optique ; le point A^∞ est sur l'axe optique. Seuls quelques rayons issus de B^∞ sont représentés. Les angles ne sont pas à l'échelle. On rappelle qu'un système optique est dit « afocal » s'il donne d'un objet à l'infini une image à l'infini.

B.1. Identifier l'objectif et l'oculaire sur le schéma en **ANNEXE PAGE 12/12 À RENDRE AVEC LA COPIE** et positionner les foyers F_2 et F'_2 de la lentille L_2 pour obtenir une lunette afocale.

B.2. Construire sur le schéma en **ANNEXE PAGE 12/12 À RENDRE AVEC LA COPIE** la marche complète des rayons lumineux incidents issus d'un point B^∞ situé à l'infini, en faisant apparaître l'image intermédiaire B_1 donnée par la lentille L_1 .

B.3. A partir de la définition du grossissement G , établir que dans le cas d'une lunette afocale : $G = \frac{f'_{ob}}{f'_{oc}}$.

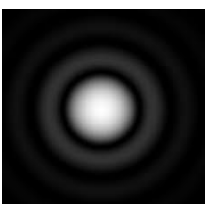
B.4. Parmi les différents oculaires disponibles, indiquer en justifiant celui qui permet d'obtenir le grossissement maximal.

B.5. Indiquer s'il est possible d'observer chacune des deux lunes, Titan et Janus, à l'aide de cette lunette.

B.6. Donner une estimation de longueur L de la lunette de l'observatoire de Marseille en s'appuyant sur le schéma de principe de la lunette présentée en **ANNEXE PAGE 12/12** et sur les valeurs des distances focales.

Partie C – Limites d'observation de la lunette astronomique

Le grossissement de la lunette n'est pas une donnée suffisante pour être assuré d'observer correctement Titan.



Tache d'Airy

En effet, la lunette astronomique devrait former, à partir d'un point objet, un point image. Mais le caractère ondulatoire de la lumière entraîne la formation d'une tache à la place du point souhaité. Cette tache, provoquée par la monture de l'objectif de diamètre d_{ob} , est constituée de cercles lumineux concentriques appelée tache d'Airy (voir ci-contre). Ce phénomène limite le pouvoir de résolution de la lunette (voir **document 2** ci-dessous).

Document 2 – Pouvoir de résolution d'un instrument optique

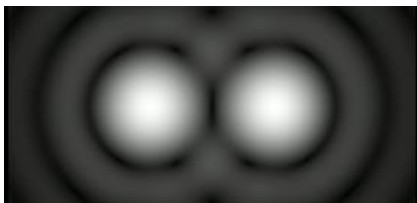
Le pouvoir de résolution est lié à la capacité à discerner les détails à travers le système optique (microscope, télescope, lunette, œil...). Il est caractérisé par un angle noté α .

Pour une lunette il a pour expression :

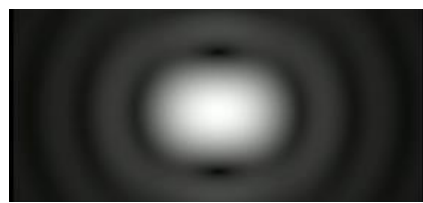
$$\alpha = \frac{1,22 \times \lambda}{d_{ob}}$$

où λ est la longueur d'onde du faisceau incident et d_{ob} le diamètre de l'objectif.

La lunette astronomique permet de distinguer deux points à conditions que l'écart angulaire θ' entre ces deux points soit supérieur à l'angle α (voir figures ci-dessous).



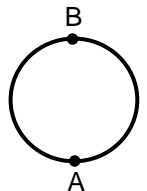
$\theta' > \alpha$: les deux points peuvent être discernés



$\theta' \leq \alpha$: les deux points ne peuvent pas être discernés

C.1. Nommer le phénomène physique qui limite le pouvoir de résolution de la lunette.

Un critère retenu pour voir correctement Titan est de pouvoir distinguer ses pôles, repérés par les points A et B (schéma ci-contre).



C.2. Pour la longueur d'onde du visible $\lambda = 550 \text{ nm}$ et pour un grossissement $G = 260$, vérifier que la lunette permet d'observer Titan correctement.

C.3. Expliquer pourquoi il est préférable d'utiliser des lunettes avec un objectif ayant un grand diamètre d'ouverture.

Partie D – Autour de Saturne

Les anneaux de Saturne semblent continus depuis la Terre. En réalité, ils sont constitués de morceaux de glace et de poussières dont la taille maximale est de l'ordre de quelques centaines de mètres. Chacun de ces morceaux, tout comme les lunes en orbite autour de Saturne, obéissent aux lois du mouvement d'un satellite dans un champ de gravitation.

Données :

- Rayon de Saturne : $R_S = 58,2 \times 10^3$ km
- Rayon intérieur du premier anneau : $r_{int} = 6,69 \times 10^4$ km
- Rayon extérieur du premier anneau : $r_{ext} = 7,45 \times 10^4$ km
- Rayon extérieur du dernier anneau : $R_{ext} = 1,36 \times 10^5$ km
- Rayon de l'orbite de Janus : $R_J = 1,51 \times 10^5$ km
- Constante de gravitation universelle : $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$

La vitesse v , constante, d'un satellite de masse m en orbite circulaire autour de Saturne est donnée par la relation :

$$v = \sqrt{\frac{G \times M_S}{r}} \quad \text{(relation 1)}$$

où r est le rayon constant de l'orbite du satellite et M_S la masse de Saturne.

D.1. Retrouver la **relation 1** en utilisant la deuxième loi de Newton et la loi d'interaction gravitationnelle.

D.2. Montrer que l'expression de la vitesse du satellite permet de retrouver la troisième loi de Kepler qui relie la période T du satellite au rayon r de son orbite :

$$T^2 = k \times r^3 \quad \text{avec } k = \frac{4\pi^2}{G \times M_S}.$$

D.3. Déterminer la masse de Saturne sachant que la période de révolution de Janus est de 17h.

D.4. Justifier qualitativement que tous les corps du premier anneau ne tournent pas à la même vitesse autour de Saturne.

D.5. Déterminer le nombre de tours effectués par la bordure interne du premier anneau, située à la distance r_{int} , pendant que la bordure externe du dernier anneau, située à R_{ext} , réalise un tour complet.

EXERCICE II : Qualité des eaux souterraines sur le littoral

Les eaux souterraines du littoral contenues dans les nappes phréatiques sont essentielles tant pour les activités humaines que pour l'environnement, mais les intrusions d'eau de mer dans ces nappes peuvent engendrer des pollutions irréversibles. Ce risque d'intrusion saline augmente en raison d'une exploitation excessive par pompage des eaux souterraines afin de faire face à une population qui ne cesse d'augmenter sur le littoral.

Ainsi, une surveillance de la qualité des eaux souterraines sur la bordure du littoral est nécessaire afin d'éviter ce risque d'intrusion d'eau saline dans la nappe phréatique.

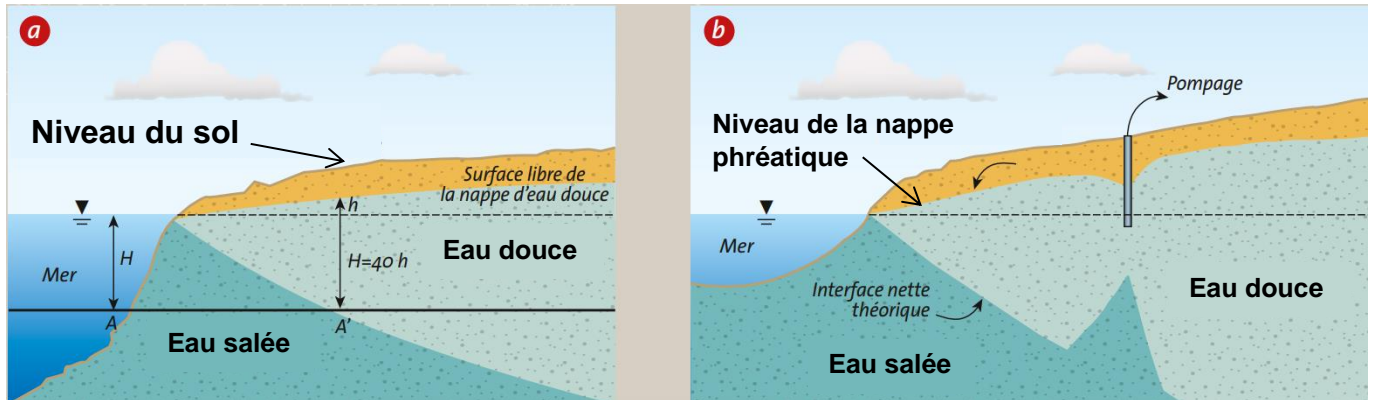


Figure 1 : Lors de l'exploitation d'un forage dans une nappe phréatique côtière, un cône de rabattement se forme au niveau de la surface de la nappe, qui modifie l'interface entre l'eau douce et l'eau salée.

Source : d'après <https://library.ensh.dz>.

L'objectif de cet exercice est de déterminer la concentration en masse en ion chlorure d'un prélèvement d'eau afin de prévenir une éventuelle intrusion d'eau marine dans la nappe souterraine.

A. L'eau salée de la mer Méditerranée

Des classes de concentrations peuvent être définies en fonction des teneurs en ions chlorure :

Concentration en masse d'ions chlorure (mg.L ⁻¹)	Inférieure à 50	Entre 50 et 200	Entre 200 et 500	Supérieure à 500
Observations	Absence de contamination	Concentration dite « naturelle », l'eau est potable	L'eau ne peut pas être utilisée pour la production d'eau potable. Sauf cas exceptionnel, de telles concentrations ne sont pas naturelles	Importante contamination de l'ouvrage par les ions chlorure

A.1. Citer la valeur de la concentration minimale en masse c_m en ion chlorure $\text{Cl}^-_{(\text{aq})}$ à partir de laquelle on peut considérer que l'eau souterraine est contaminée par une intrusion d'eau de mer la rendant non potable.

A.2.

Données :

Masses molaires atomiques (en $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$)

$\text{Cl}^-_{(\text{aq})}$	$\text{Na}^+_{(\text{aq})}$	$\text{Mg}^{2+}_{(\text{aq})}$
35,5	23,0	24,3

Nous allons, dans un premier temps, déterminer la concentration en masse en ion chlorure de l'eau de la mer Méditerranée. La présence des ions chlorure Cl^- est principalement due à la dissolution du chlorure de sodium $\text{NaCl}_{(\text{s})}$ dans l'eau mais le chlorure de magnésium participe aussi à la salinité de l'eau de mer.

L'équation de la réaction modélisant la dissolution du chlorure de magnésium $\text{MgCl}_{2(\text{s})}$ dans l'eau est : $\text{MgCl}_{2(\text{s})} \rightarrow \text{Mg}^{2+}_{(\text{aq})} + 2 \text{Cl}^-_{(\text{aq})}$

A.2.1. Sachant que la concentration en quantité de matière de chlorure de magnésium $\text{MgCl}_{2(\text{s})}$ dans l'eau de mer vaut $c = 4,0 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, déterminer la concentration en quantité de matière en ions chlorure $\text{Cl}^-_{(\text{aq})}$ apportés par $\text{MgCl}_{2(\text{s})}$, notée $[\text{Cl}^-_{(\text{aq})}]$.

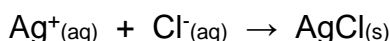
A.2.2. La concentration en masse en ions chlorure $\text{Cl}^-_{(\text{aq})}$ apportés par le chlorure de sodium $\text{NaCl}_{(\text{s})}$ dans l'eau a pour valeur $c_m = 16,5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$. Déterminer alors la concentration totale en masse en ions chlorure dans la mer Méditerranée.

B. Titrage des ions chlorure de l'eau douce des eaux souterraines

La concentration en masse en ions chlorure de l'eau douce qui se trouve proche de la zone de pompage doit être surveillée. Pour cela, un prélèvement d'eau de 50,0 mL est effectué au niveau du pompage.

On titre ensuite les ions chlorure de cette solution d'eau par une solution de nitrate d'argent ($\text{Ag}^+_{(\text{aq})} + \text{NO}_3^-_{(\text{aq})}$) de concentration en quantité de matière $1,00 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

Le titrage est suivi par conductimétrie. L'équation de la réaction support du titrage est :



Données :

Conductivités molaires ioniques à 25°C ($\text{S}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mol}^{-1}$)

$\lambda_{\text{Cl}^-_{(\text{aq})}}$	$\lambda_{\text{Ag}^+_{(\text{aq})}}$	$\lambda_{\text{NO}_3^-_{(\text{aq})}}$
$76,3 \times 10^{-4}$	$71,4 \times 10^{-4}$	$61,9 \times 10^{-4}$

B.1. Identifier, parmi les trois courbes I, II et III proposées sur le graphique de la **figure 2** suivante, celle qui représente l'évolution simulée de la conductivité σ du mélange en fonction du volume V de solution de nitrate d'argent versé. Justifier votre réponse.

B.2. Le volume versé à l'équivalence est $V_E = 13,0$ mL. En déduire si l'eau du prélèvement peut être utilisée pour l'alimentation en eau potable.

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.

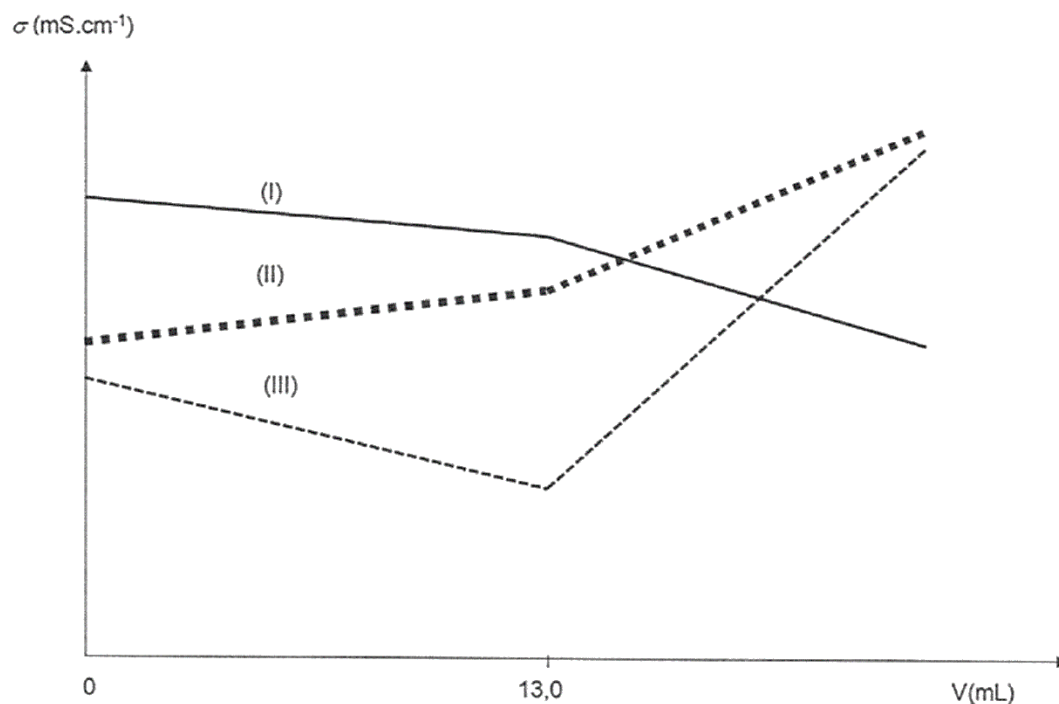


Figure 2 : Evolution simulée de la conductivité σ du mélange en fonction du volume V de solution de nitrate d'argent versé

C. Modélisation d'un titrage

Ce titrage peut être modélisé en utilisant le langage de programmation Python (extrait en **figure 3**). L'objectif est de visualiser l'évolution des quantités de matière des ions $\text{Ag}^+_{(\text{aq})}$, des ions $\text{Cl}^-_{(\text{aq})}$, et du produit $\text{AgCl}_{(\text{s})}$ au cours du titrage (**figure 4**).

C.1. Les quantités de matière n_A , n_B et n_C , mentionnées et calculées aux lignes 21, 22, 23, 28, 29 et 30 du programme Python (**figure 3**) sont représentées sur la **figure 4**. Grâce à cette dernière et avec justification, identifier les espèces chimiques A, B et C.

C.2. Compléter la ligne 15 du programme Python de la **figure 3** afin qu'il calcule la concentration en quantité de matière en ions chlorure.


```

1 import numpy as np
2 import matplotlib.pyplot as plt
3
4 # Définition des quantités de matière de A, B et C
5 nA=[]
6 nB=[]
7 nC=[]
8
9 # Conditions expérimentales
10 cB = 0.01 # Saisie de la concentration de la solution titrante (mol/L)
11 vA = 50 # Saisie du volume initial de solution titrée (mL)
12 VE = 13 # Saisie du volume équivalent (mL)
13
14 # Calcul de la concentration en quantité de matière en ions chlorure
15 cA = ?
16 print("Concentration en quantité de matière en ions chlorure = ",cA, "mol/L")
17
18 # Calcul des quantités de matière en mmol avant et à l'équivalence
19 # en fonction du volume V de solution titrante versé
20 def avant_Eqv(V) :
21     nA.append(cA*VA - cB*V)
22     nB.append(0)
23     nC.append(cB*V)
24
25 # Calcul des quantités de matière en mmol après l'équivalence
26 # en fonction du volume V de solution titrante versé
27 def apres_Eqv(V) :
28     nA.append(0)
29     nB.append(cB*V - cA*VA)
30     nC.append(cA*VA)

```

Figure 3 : Extrait du programme écrit en langage Python

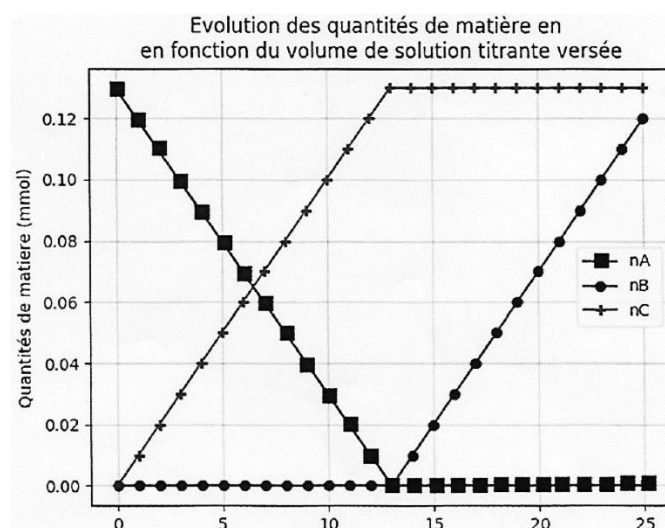


Figure 4 : Evolutions des quantités de matière des ions $\text{Ag}^+_{(aq)}$, des ions $\text{Cl}^-_{(aq)}$, et du produit $\text{AgCl}_{(s)}$ au cours du titrage obtenues à l'aide du programme écrit en langage Python

EXERCICE III : La pile au méthanol

Une pile au méthanol fait partie des piles à combustibles. Elle est constituée de deux électrodes en platine, au niveau desquelles se produisent une réaction d'oxydation et une réaction de réduction. Le platine sert de catalyseur pour les réactions d'oxydo-réduction. Les deux électrodes sont séparées par une membrane poreuse riche en ions hydrogène $H^+(aq)$, appelée membrane protonique. L'une des électrodes est alimentée par du dioxygène puisé dans l'air, et l'autre est alimentée par un combustible, ici le méthanol en solution aqueuse (**figure 1**).

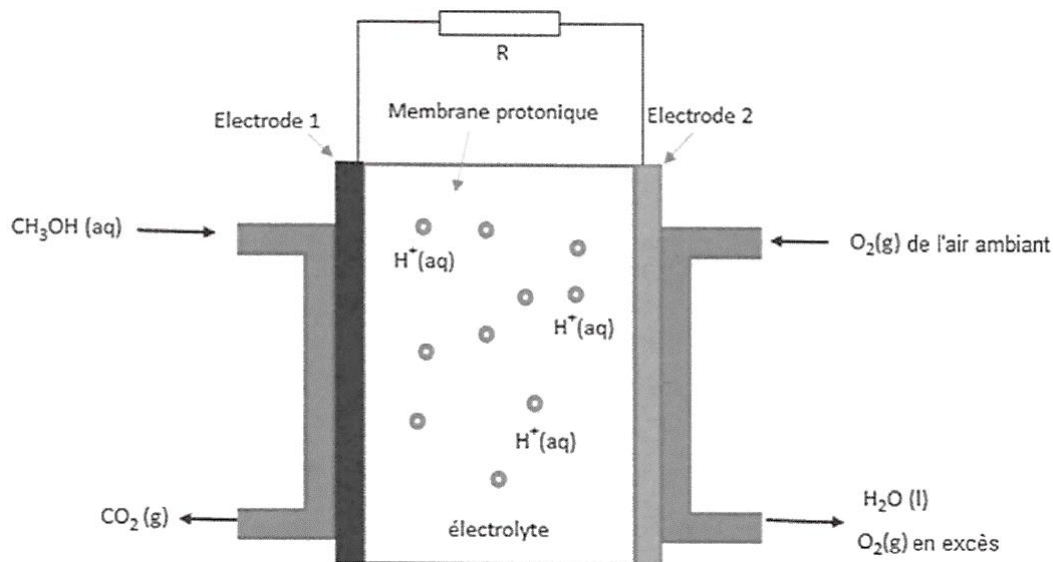


Figure 1. La pile au méthanol en fonctionnement

Données :

- Masse molaire du méthanol : $M_{\text{méthanol}} = 32,0 \text{ g.mol}^{-1}$.
- Masse volumique du méthanol : $\rho_{\text{méthanol}} = 0,792 \text{ g.mL}^{-1}$.
- Composition volumique de l'air : 20 % de dioxygène et 80 % de diazote.
- Volume molaire du dioxygène dans les conditions de l'expérience : $V_m = 24,5 \text{ L.mol}^{-1}$.
- Constante de Faraday : $F = 9,6 \times 10^4 \text{ C.mol}^{-1}$.
- Le rendement r d'une pile relie sa capacité électrique réelle Q'_{max} à sa capacité électrique théorique Q_{Max} par la relation : $Q'_{\text{max}} = r \times Q_{\text{Max}}$.
- Lorsqu'on associe des piles en série, leurs capacités électriques s'ajoutent.

PARTIE A : Etude du fonctionnement de la pile au méthanol

Les demi-équations traduisant les réactions au niveau des électrodes de la pile au méthanol sont données ci-dessous :

- Électrode 1 : $CH_3OH(aq) + H_2O(l) = CO_2(g) + 6 e^- + 6 H^+(aq)$
- Électrode 2 : $O_2(g) + 4 e^- + 4 H^+(aq) = 2 H_2O(l)$

A.1.1. Identifier quelle électrode constitue l'anode et quelle électrode constitue la cathode dans la pile au méthanol. Justifier.

A.1.2. Indiquer sur le schéma du circuit étudié donné dans **l'ANNEXE A RENDRE AVEC LA COPIE**, les pôles de la pile ainsi que le sens du courant électrique.

A.1.3. Expliquer le rôle de la membrane protonique dans la pile au méthanol.

A.1.4. Indiquer le sens de circulation des porteurs de charge à l'intérieur et à l'extérieur de la pile sur le schéma de **l'ANNEXE A RENDRE AVEC LA COPIE.**

A.2. Écrire l'équation de la réaction chimique modélisant le fonctionnement de la pile.

La pile est alimentée avec un volume $V = 5,0$ mL d'une solution aqueuse de méthanol à 10 % en volume et avec de l'air ambiant. Le compartiment qui contient l'air est constamment en contact avec l'air ambiant.

A.3.1. Montrer que la quantité de matière de méthanol introduite dans la pile au méthanol a pour valeur $n(\text{CH}_3\text{OH}) = 1,2 \times 10^{-2}$ mol.

A.3.2. Justifier que le dioxygène est le réactif en excès.

A.3.3. Déterminer le volume d'air $V(\text{air})$ consommé lors du fonctionnement de la pile jusqu'à son usure.

PARTIE B : Alimentation d'un circuit comportant un petit ventilateur

Au laboratoire du lycée, des élèves cherchent à faire fonctionner un petit ventilateur avec la pile au méthanol étudiée dans la partie A. Ils mesurent alors que l'intensité du courant qui circule dans le circuit lorsque le ventilateur fonctionne vaut $I = 450$ mA. La pile a un rendement de 70 %.

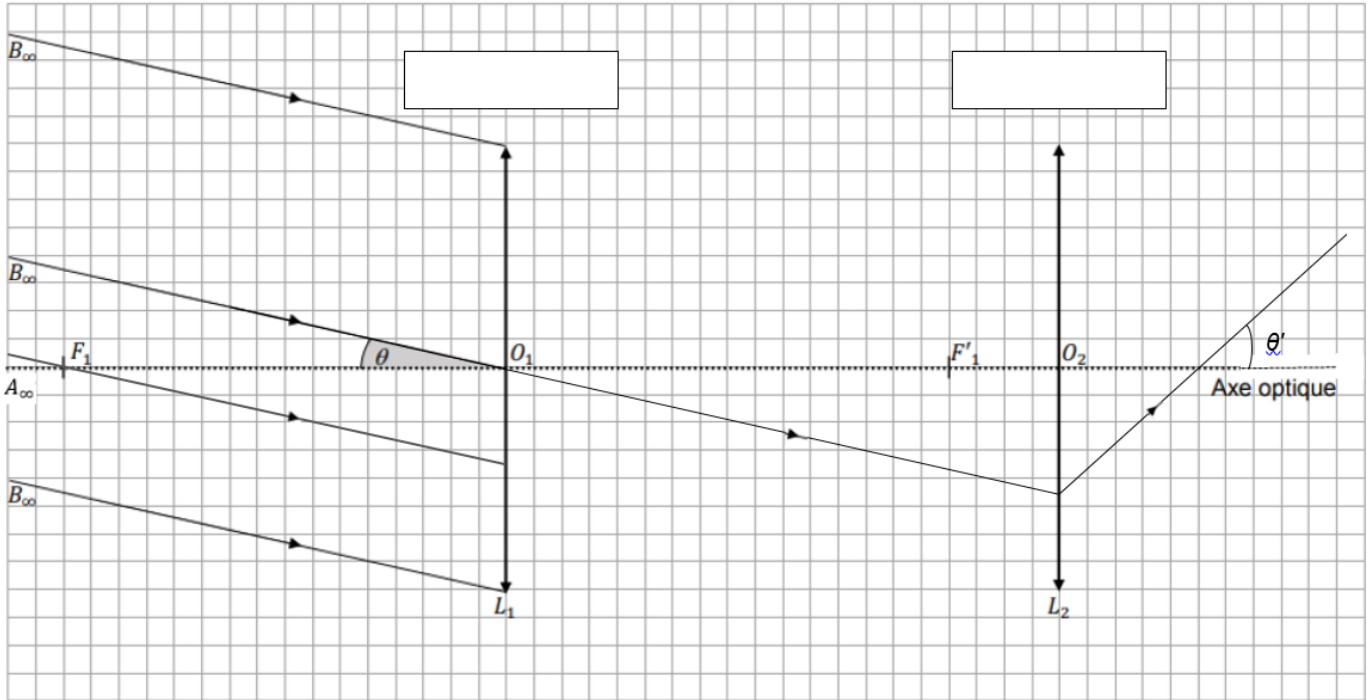
B.1. Calculer la capacité électrique théorique de la pile au méthanol étudiée dans la partie A.

B.2. Les élèves souhaitent faire fonctionner le ventilateur pendant au moins une heure. Expliquer en argumentant la réponse s'ils y parviendront.

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

ANNEXE A RENDRE AVEC LA COPIE (même non complétée)

EXERCICE I : Questions B.1. et B.2.



EXERCICE III : Questions A.1.2. et A.1.4.

