Bac Général Physique-Chimie + SVT (Physique-chimie et Sciences de la vie et de la Terre)

SUJET D'EXAMEN (SESSION OFFICIELLE)

Physique-chimie - Session 2022

Sujet de l'examen national tel que publié pour la session indiquée. Source : sujets nationaux publiés par le ministère chargé de l'examen et les services académiques. Document mis à disposition par FormaV pour la révision.

Toutes les annales et leurs corrigés : https://bac-physique-svt.fr/annales-sujets-et-corriges

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2022

PHYSIQUE-CHIMIE

JOUR 1

Durée de l'épreuve : **3 heures 30**

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.
L'usage de la calculatrice sans mémoire « type collège » est autorisé.

Dès que le sujet est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Ce sujet comporte 18 pages numérotées de 1/18 à 18/18 avec 4 exercices indépendants.

L'« ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE » (p18/18) est à rendre <u>impérativement</u> avec la copie, même non complétée.

Le candidat traite 3 exercices : l'exercice 1 est obligatoire ; 2 exercices sont à choisir parmi les 3 autres proposés.

Il est rappelé aux candidats que la qualité de la rédaction, la clarté et la précision des explications entreront dans l'appréciation des copies.

EXERCICE 1 - Commun à tous les candidats (10 points)

Ingenuity, le premier hélicoptère à voler sur Mars

Ingenuity est un petit hélicoptère - comparable à un drone - d'un peu moins de deux kilogrammes, développé par l'agence spatiale américaine, la NASA. Il a été expérimenté sur le sol de la planète Mars au cours de la mission Mars 2020 pour tester ses capacités dans le domaine de la reconnaissance optique du sol martien.

Les défis technologiques sont grands :

- l'atmosphère de Mars est peu dense, ce qui limite *la portance** des hélices ;
- les délais de communication entre la Terre et Mars interdisent le contrôle de l'hélicoptère en temps réel depuis la Terre, et imposent un système de pilotage automatique programmable à distance.

Le premier vol d'Ingenuity a été réalisé avec succès le lundi 19 avril 2021. Durant ce test d'une durée de 39 secondes, l'hélicoptère s'est élevé de 3 mètres puis a effectué un vol stationnaire avant de se reposer. Une dizaine de vols de plus en plus complexes ont suivi.

** Pour pouvoir voler, les pâles en rotation de l'hélicoptère génèrent une force verticale ascendante appelée « portance ».*

Ingenuity

Hélicoptère d'exploration de Mars



Ingenuity sur le sol martien.

Caractéristiques techniques

Rayon d'action	600 mètres
Masse	1,8 kg (dont 273 g de batteries)
Dimensions	Fuselage : 13,6 × 19,5 cm Diam. rotors : 1,21 m
Propulsion	Rotors
Source d'énergie	Cellules solaires
Accumulateurs	Batteries lithium-ion
Autre caractéristique	Plafond vol : 5 mètres Durée vol : 90 secondes

Figure 1 : Caractéristiques techniques d'Ingenuity

source : d'après fr.m.wikipedia.org/wiki, fichier Mars_helicopter_on_sol_46.png

Données :

- Caractéristiques techniques de l'hélicoptère Ingenuity (**figure 1** ci-dessus) ;
- Pression atmosphérique de l'air sur Terre : $P = 1{,}013 \times 10^5\ \text{Pa}$;
- Masse molaire moyenne de l'air sur Terre : $M = 29{,}0 \times 10^{-3}\ \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$;
- Constante des gaz parfaits : $R = 8{,}314\ \text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$;
- Conversion d'unité de température : $T(\text{K}) = T(°\text{C}) + 273{,}15$;
- Intensité de pesanteur sur Mars : $g_M = 3{,}7\ m \cdot s^{-2}$;
- Intensité de pesanteur sur Terre : $g_T = 9{,}8\ m \cdot s^{-2}$;
- Pour un gaz supposé parfait, on a la relation : $PV = nRT$, avec P en pascal (Pa), V en m^3, n en mol, R (donné ci-dessus) et T en kelvin (K).

Cet exercice comporte 4 parties indépendantes.

PARTIE A : L'atmosphère de Mars

L'hélicoptère Ingenuity est fortement handicapé dans l'atmosphère peu dense de Mars. En effet, la densité de l'atmosphère est 100 fois plus faible sur Mars que sur Terre.

A.1. En supposant que l'air est un gaz parfait, montrer que la masse volumique de l'air (en $\mathrm{kg \cdot m^{-3}}$) sur Terre ρ_{Terre} vérifie la relation :

$$\rho_{Terre} = \frac{PM}{RT}$$

A.2. Calculer sa valeur pour une température de l'air de 15 ℃.

La masse volumique de l'atmosphère sur Mars est égale à 1 % de celle de l'air sur Terre.

A.3. En déduire la valeur de la masse volumique de l'atmosphère sur Mars ρ_{Mars} à la température de 15 ℃.

A.4. Sachant que la portance est proportionnelle à la masse volumique de l'atmosphère dans laquelle se trouve l'engin, expliquer pourquoi c'est un « défi technologique » de faire voler un hélicoptère sur Mars.

PARTIE B : La phase de décollage

Pour pouvoir décoller, la portance doit au moins compenser le poids de l'hélicoptère.

Les figures suivantes, sur Terre (**figure 2**) et sur Mars (**figure 3**)**,** représentent l'évolution de la portance de l'hélicoptère Ingenuity en fonction de la vitesse de rotation des pâles N en tours par minute (tpm).

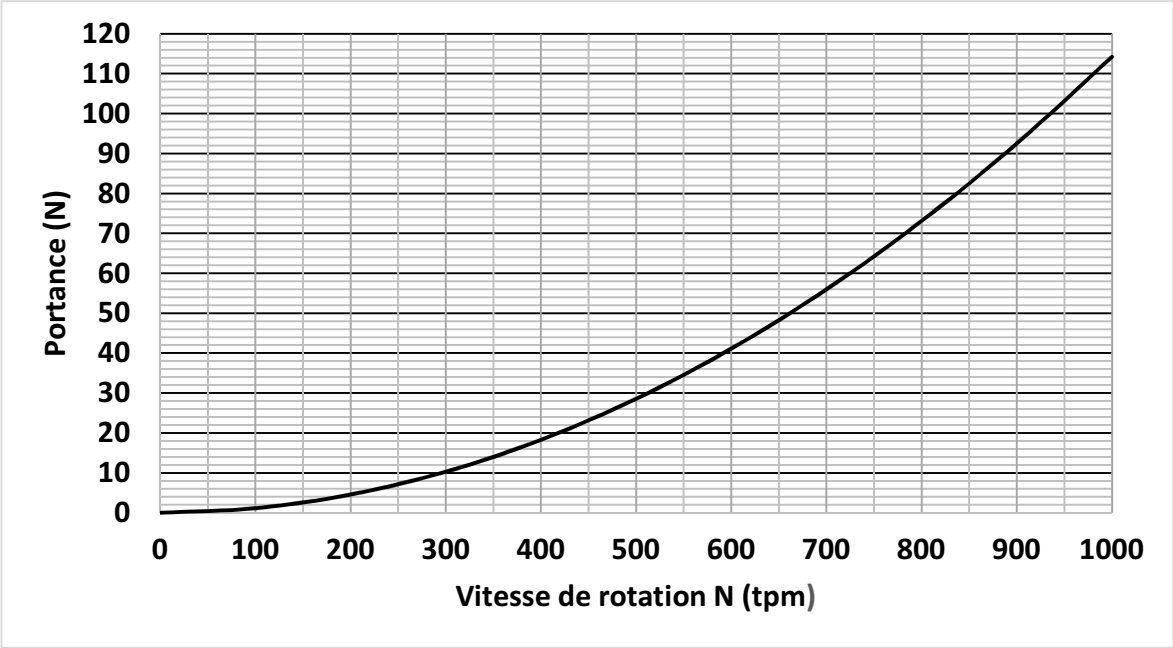


Figure 2 : Portance sur Terre en fonction de la vitesse de rotation des pâles

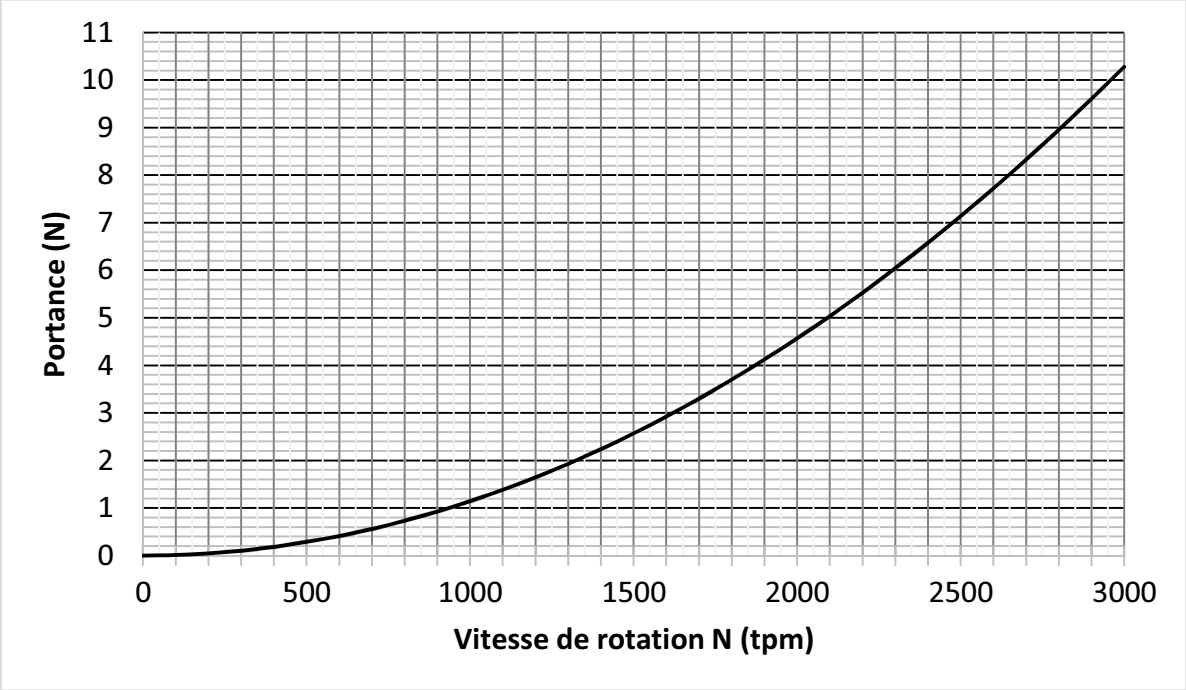


Figure 3 : Portance <u>sur Mars</u> en fonction de la vitesse de rotation des pâles

B.1. Déterminer la valeur de la vitesse de rotation minimale des pâles de Ingenuity sur Terre et sur Mars afin que l'hélicoptère décolle. Commenter le résultat.

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.

<u>PARTIE C :</u> Une phase d'atterrissage délicate

La phase la plus délicate du vol de l'hélicoptère est l'atterrissage, du fait des turbulences qui peuvent déséquilibrer l'engin. La solution retenue est d'arrêter la propulsion à un mètre au-dessus du sol, et de laisser l'hélicoptère atteindre le sol en *chute libre*

On suppose dans l'étude qui suit que l'hélicoptère Ingenuity est en vol stationnaire – c'est-à-dire à vitesse nulle – à une altitude $H = 1{,}0\,\mathrm{m}$ au-dessus du sol martien lorsque ses pâles cessent de tourner. Il chute alors verticalement.

Soit un axe *Oz* vertical, orienté positivement vers le haut et dont l'origine *O* est confondue avec le sol (**figure 4** ci-contre).

On note $\vec{g}_M$ le champ de pesanteur sur Mars.

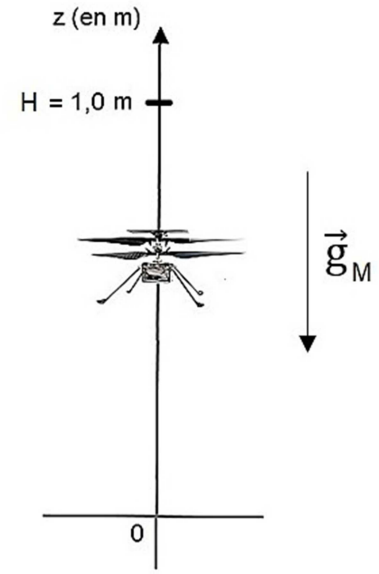


Figure 4 : Atterrissage d'Ingenuity

C.1. Appliquer la deuxième loi de Newton afin d'exprimer *la coordonnée* $a_z(t)$ du vecteur accélération de l'hélicoptère lors de la phase de chute libre.

C.2. En déduire, dans le repère défini, *la coordonnée* $v_z(t)$ du vecteur vitesse de l'hélicoptère lors de la phase de chute libre.

C.3. Déduire des résultats précédents l'équation horaire $z(t)$ du mouvement de l'hélicoptère lors de la phase de chute libre.

C.4. Déterminer la durée t_{sol} au bout de laquelle l'hélicoptère atteindra le sol martien.

C.5. Déterminer la vitesse v_{sol} de l'hélicoptère au moment de l'impact sur le sol martien.

Lors des essais préparatoires réalisés sur Terre, des vitesses d'impact de l'ordre de grandeur de $16\ \mathrm{km \cdot h^{-1}}$ ont été enregistrées. Le train d'atterrissage d'Ingenuity a été conçu pour résister à de telles vitesses.

C.6. Indiquer, en justifiant, si le train d'atterrissage est assez résistant pour une utilisation sur la planète Mars.

<u>PARTIE D :</u> Mesure de l'altitude au cours d'un vol

Les capteurs embarqués par Ingenuity comprennent une caméra de navigation noir et blanc, une caméra couleur haute résolution, une centrale à inertie, un inclinomètre et un altimètre. Ce dernier capteur permet à Ingenuity de connaître en temps réel son altitude par rapport au sol.

Un groupe d'élèves de lycée souhaite réaliser un altimètre pour un drone à l'aide d'un condensateur dont la capacité C varie en fonction de l'altitude z à laquelle se trouve le drone.

Afin d'étudier les caractéristiques du condensateur choisi, on le place dans le circuit représenté sur la **figure 5** :

- l'interrupteur est d'abord en position 1 : le condensateur se charge sous la tension E;
- lorsque la charge est terminée, l'interrupteur bascule en position 2 : le condensateur de capacité C se décharge alors dans la résistance $R = 1{,}0\ \mathrm{k\Omega}$.

On se place dans un premier temps dans le cas où le drone, donc le condensateur, se trouve au niveau du sol.

Le graphique de la **figure 6** représente l'évolution de la tension u_c aux bornes du condensateur au cours de la décharge en fonction du temps.

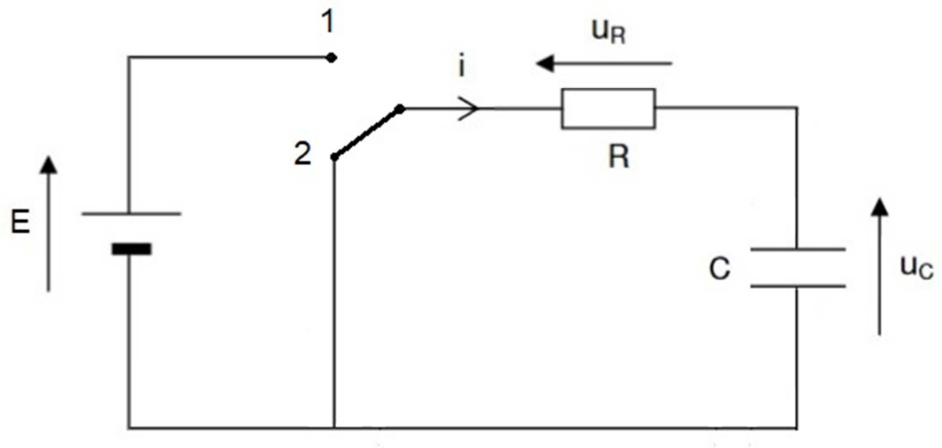


Figure 5 : Schéma du circuit électrique

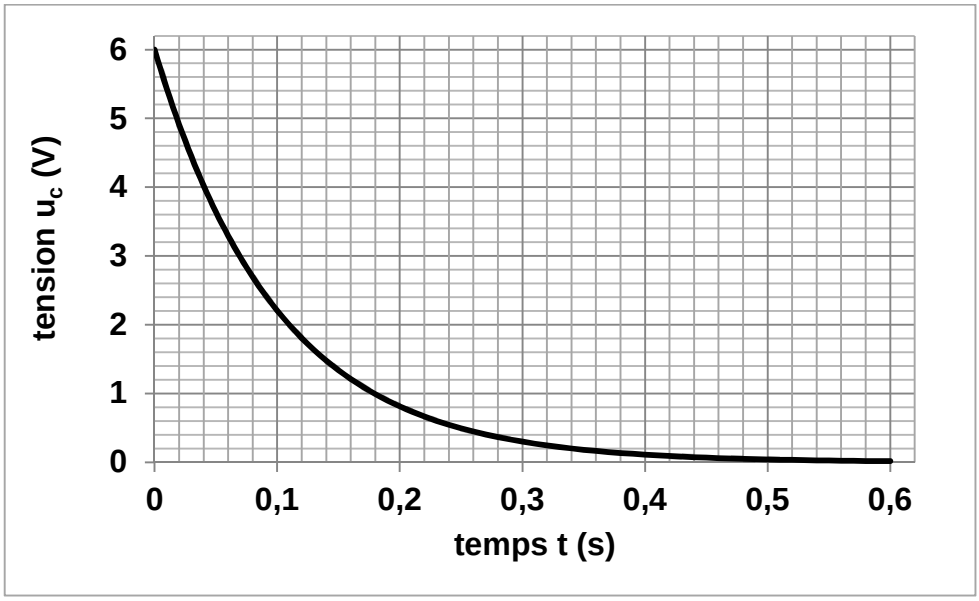


Figure 6 : Décharge du condensateur *au niveau du sol*

D.1. Montrer que l'équation différentielle qui régit l'évolution de la tension aux bornes du condensateur lors de sa ***décharge*** (interrupteur en position 2) s'écrit :

$$\frac{du_c}{dt} + \frac{u_c}{RC} = 0$$

D.2. Montrer que la solution de cette équation différentielle s'écrit $u_c(t) = E \times e^{-\frac{t}{\tau}}$ où τ est le temps caractéristique de cette décharge à exprimer fonction de R et C.

D.3. Déterminer, à l'aide du graphe de la **figure 6**, et en justifiant la réponse :

D.3.1. la valeur de la tension E ;

D.3.2. la valeur du temps caractéristique τ.

D.4. En déduire que la capacité du condensateur au niveau du sol vaut environ $C_0 = 100\ \mu\text{F}$.

Lorsque le drone monte, la pression atmosphérique diminue et provoque une augmentation de l'épaisseur *e* entre les armatures comme illustré sur les **figures 7 et 8** suivantes.

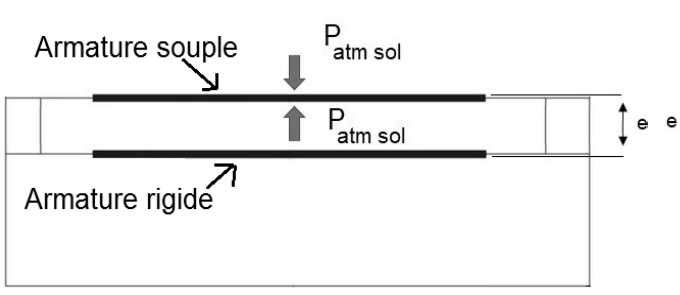


Figure 7 : **Condensateur <u>au niveau du sol</u>**
La pression entre les armatures est la même que la pression atmosphérique extérieure.

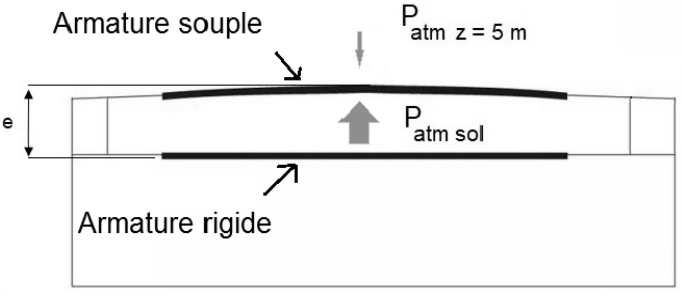


Figure 8 : Condensateur <u>à 5,0 m d'altitude</u>
La pression entre les armatures reste la même que précédemment. La pression atmosphérique extérieure diminue.

On rappelle que la capacité d'un condensateur plan constitué de deux plaques séparées par un isolant s'exprime par la relation :

$$C = \frac{\varepsilon\, S}{e}$$

- C *: capacité du condensateur* (F)
- ε *: permittivité diélectrique de l'isolant* $(\mathrm{F \cdot m^{-1}})$
- S *: surface en regard de chaque armature* $(\mathrm{m^2})$
- e *: distance entre les deux plaques* (m)

D.5. Expliquer comment évolue la capacité C du condensateur lorsque le drone s'éloigne du sol. On supposera que la surface des armatures reste constante.

D.6. Estimer la valeur de la capacité C du condensateur à $5{,}0\ \mathrm{m}$ du sol sachant que la variation de pression par rapport au sol provoque une augmentation de l'épaisseur e de 10 %.

On rappelle que la capacité C_0 *du condensateur au niveau du sol est égale à* $100\ \mu\mathrm{F}$.

EXERCICES au choix du candidat (5 points)

Vous indiquerez sur votre copie les 2 exercices choisis : EXERCICE A ou EXERCICE B ou EXERCICE C.

EXERCICE A - Étude de l'acide benzoïque et du benzoate de sodium

Mots clés de l'EXERCICE A : réaction acide-base, taux d'avancement final, synthèse.

Les conservateurs sont des substances qui prolongent la durée de conservation des denrées alimentaires en les protégeant des altérations dues aux micro-organismes. La présence d'un conservateur dans les aliments et les boissons est repérée par un code européen (E200 à E297)

L'acide benzoïque C_6H_5COOH (E210) et le benzoate de sodium C_6H_5COONa (E211) sont utilisés dans l'industrie comme conservateurs alimentaires pour leurs propriétés fongicides et antibactériennes. Ils sont présents en particulier dans de nombreuses boissons « light ».

Données :

- Couples acide-base à 25 °C : C_6H_5COOH / $C_6H_5COO^-$ $\quad p K_{A1} = 4{,}2$
  H_2O / HO^- $\quad p K_{A2} = 14$
- Solubilité de l'acide benzoïque (masse maximale que l'on peut dissoudre dans un litre de solution) : $s_{C_6H_5COOH} = 2{,}4\ \text{g.L}^{-1}$ à 25 °C

Nom	Alcool benzylique	Permanganate de potassium	Acide benzoïque
Formule	$C_6H_5CH_2OH$	$KMnO_4$	$C_6H_5CO_2H$
Masse molaire $(\mathbf{g \cdot mol^{-1}})$	$M_1 = 108$	$M_2 = 158$	$M_3 = 122$
Masse volumique $(\mathbf{g \cdot mL^{-1}})$	$\rho_1 = 1{,}0$		$\rho_3 = 1{,}3$

PARTIE A : Réaction de l'acide benzoïque avec l'eau

On introduit une masse m_0 d'acide benzoïque dans de l'eau distillée afin d'obtenir un volume $V_0 = 100\ \text{mL}$ de solution. Après dissolution totale, on obtient une solution aqueuse d'acide benzoïque, notée S_0, de concentration $C_0 = 1{,}0 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Le pH-mètre indique 3,1 pour le pH de cette solution.

A.1. Calculer la masse m_0 qu'il faut peser pour préparer la solution S_0 . La solution est-elle saturée ?

A.2. Écrire l'équation de la réaction de l'acide benzoïque avec l'eau.

A.3. Tracer le diagramme de prédominance du couple acide benzoïque/ion benzoate et préciser quelle est l'espèce prédominante dans la solution S_0 .

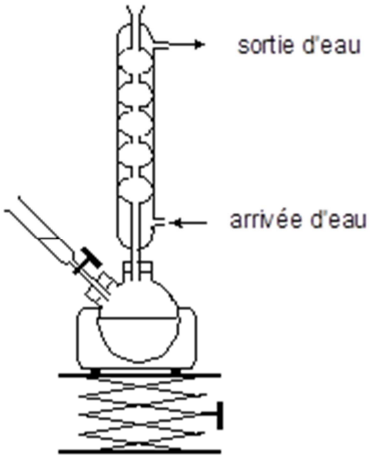
A.4. Compléter le tableau d'avancement de **l'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE** (**p18/18)** correspondant à cette transformation chimique, en fonction de C_0, V_0 et $x_{éq}$, avancement à l'état d'équilibre.

A.5. Calculer l'avancement maximal x_{max}.

A.6. Montrer que le taux d'avancement final τ s'écrit $\tau = \frac{[H_3O^+]_{éq}}{C_0}$, puis le calculer.
Ce résultat est-il en accord avec la réponse à la question **A.3.** ?

PARTIE B : La synthèse de l'acide benzoïque

L'acide benzoïque peut être préparé par synthèse en laboratoire selon le protocole suivant :



Étape 1 : Formation de l'acide benzoïque

Après avoir versé dans un ballon bicol posé sur un valet et sous la hotte un volume V_1 = 2,0 mL d'alcool benzylique $C_6H_5CH_2OH$ *puis bouché l'ensemble, on ajoute environ 20 mL de soude à l'aide d'une éprouvette graduée. On introduit ensuite quelques grains de pierre ponce dans le ballon pour réguler l'ébullition lors du chauffage.*

On réalise alors un montage à reflux représenté ci-contre.

On verse lentement une solution aqueuse de permanganate de potassium ($K^+_{(aq)} + MnO^-_{4\,(aq)}$) *dans le ballon, on porte le mélange à ébullition douce pendant 10 minutes environ. On ajoute quelques millilitres d'éthanol afin d'éliminer le permanganate de potassium, réactif en excès, puis on refroidit le ballon et son mélange.*

Étape 2 : Cristallisation de l'acide benzoïque

On filtre le mélange obtenu, puis on recueille un filtrat limpide et incolore. Le filtrat est ensuite versé dans un bécher et refroidi dans la glace.

On ajoute prudemment 8,0 mL d'acide chlorhydrique concentré goutte à goutte et on observe la formation du précipité blanc d'acide benzoïque ($C_6H_5CO_2H$)*. On filtre et on rince avec un peu d'eau bien froide.*

Sur une coupelle préalablement pesée dont la masse est m = 140,4 g, on récupère les cristaux d'acide benzoïque. Après séchage, on pèse l'ensemble et on trouve une masse m' = 141,8 g.

B.1. À propos du mode opératoire

B.1.1. Au vu du mode opératoire décrit ci-dessus, sur quels facteurs cinétiques se base-t-on pour réaliser plus rapidement cette synthèse.

B.1.2. Préciser quels sont les avantages du chauffage à reflux du mélange réactionnel.

B.2. Étude de la réaction de synthèse de l'acide benzoïque

L'oxydation se fait en milieu basique. L'équation de la réaction d'oxydoréduction qui se produit entre l'alcool benzylique et les ions permanganate s'écrit :

$$3\,C_6H_5CH_2OH_{(l)} + 4\,MnO^-_{4\,(aq)} \rightarrow 3\,C_6H_5CO^-_{2\,(aq)} + 4\,H_2O_{(l)} + 4\,MnO_{2\,(s)} + HO^-_{(aq)}$$

B.2.1. Déterminer la quantité de matière n_1 d'alcool benzylique contenu dans la prise d'essai de 2,0 mL.

B.2.2. Lors de la cristallisation, le passage de l'ion benzoate à l'acide benzoïque se fait selon l'équation chimique :

$$C_6H_5CO_{2\,(aq)}^{-} + H_3O_{(aq)}^{+} \rightleftarrows C_6H_5CO_2H_{(s)} + H_2O_{(l)}$$

Calculer la quantité de matière théorique d'acide benzoïque que l'on pourrait obtenir si la transformation était totale, sachant que l'alcool benzylique est le réactif limitant.

B.2.3. En déduire le rendement *r* de la synthèse effectuée.

EXERCICE B : Qualité des eaux souterraines sur le littoral

Mots clés de l'EXERCICE B : dissolution, concentration en masse, titrage conductimétrique.

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.

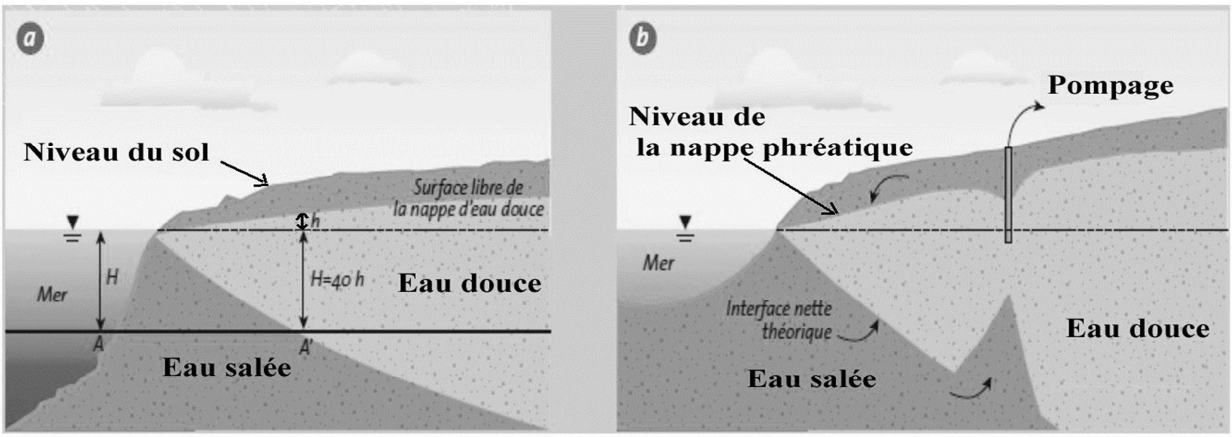


Figure 1 : Lors de l'exploitation d'un forage dans une nappe phréatique côtière, un cône de rabattement se forme au niveau de la surface de la nappe, qui modifie l'interface entre l'eau douce et l'eau salée. Source : d'après https://library.ensh.dz.

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 ($mg \cdot L^{-1}$)	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 chlorures

A.1. Citer la valeur de la concentration minimale en masse c_m en ion chlorure $Cl^-_{(aq)}$ 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 $\mathrm{g \cdot mol^{-1}}$)

$\mathrm{Cl^-}$	$\mathrm{Na^+}$	$\mathrm{Mg^{2+}}$
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 $\mathrm{Cl^-}$ est principalement due à la dissolution du chlorure de sodium $\mathrm{NaCl_{(s)}}$ 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 $\mathrm{MgCl_{2(s)}}$ dans l'eau est : $\mathrm{MgCl_{2(s)} \rightarrow Mg^{2+}_{(aq)} + 2\ Cl^-_{(aq)}}$.

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

A.2.2. La concentration en masse en ions chlorure $\mathrm{Cl^-_{(aq)}}$ apportés par le chlorure de sodium $\mathrm{NaCl_{(s)}}$ dans l'eau a pour valeur $c_m = 16{,}5\ \mathrm{g \cdot L^{-1}}$. 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 $(\mathrm{Ag^+_{(aq)} + NO^-_{3\ (aq)}})$ de concentration en quantité de matière $1{,}00 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$.

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

$$\mathrm{Ag^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)} \rightarrow AgCl_{(s)}}$$

Données :

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

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

B.1. Identifier, parmi les trois courbes I, II et III proposées sur le graphique de la **figure 2** page 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 $V_{eq} = 13{,}0\ \mathrm{mL}$. 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.

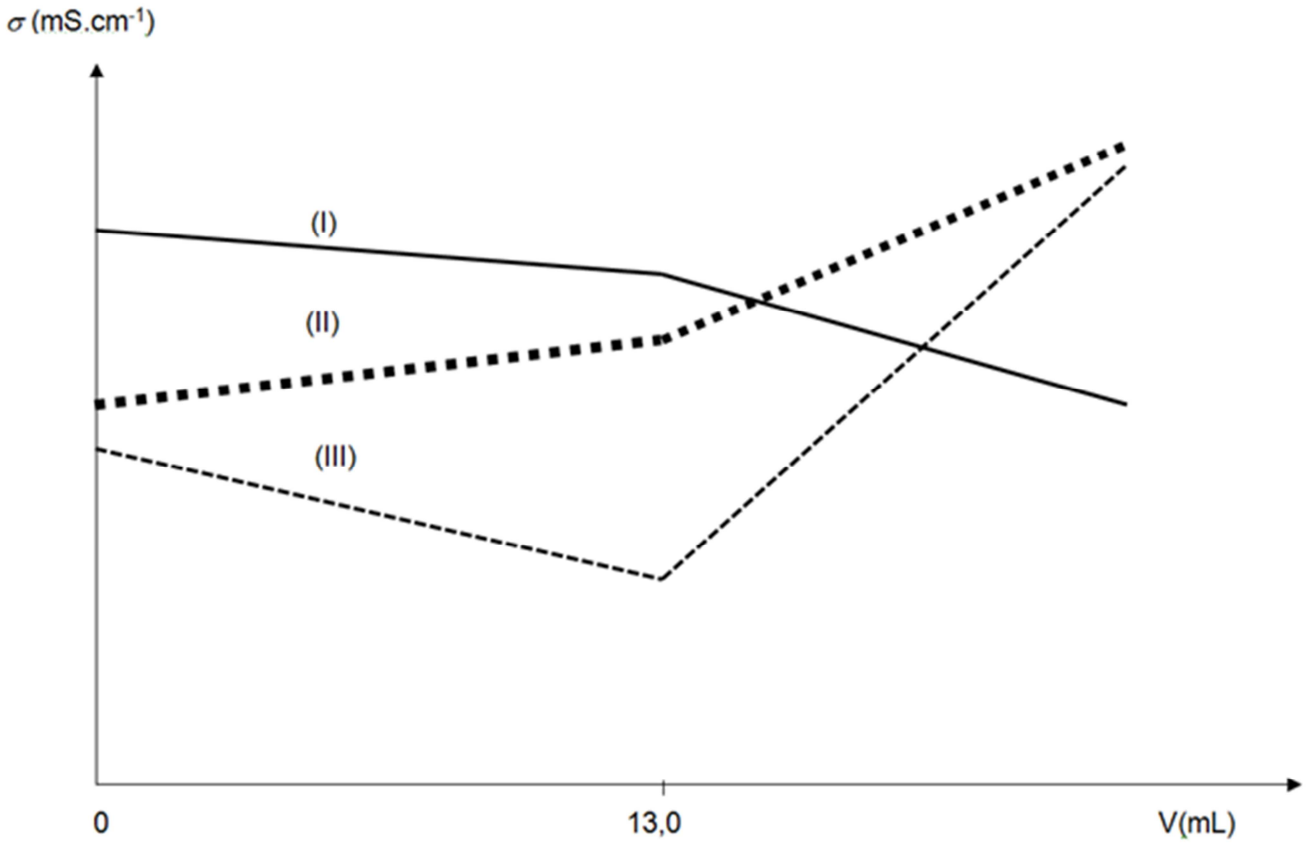


Figure 2 : Évolution simulée de la conductivité σ du mélange en fonction du volume V de solution de nitrate d'argent versé

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 $Ag^+_{(aq)}$, des ions $Cl^-_{(aq)}$ et du produit $AgCl_{(s)}$ au cours du titrage (**figure 4**).

C.1. Les quantités de matière nA, nB et nC, 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 Veq = 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

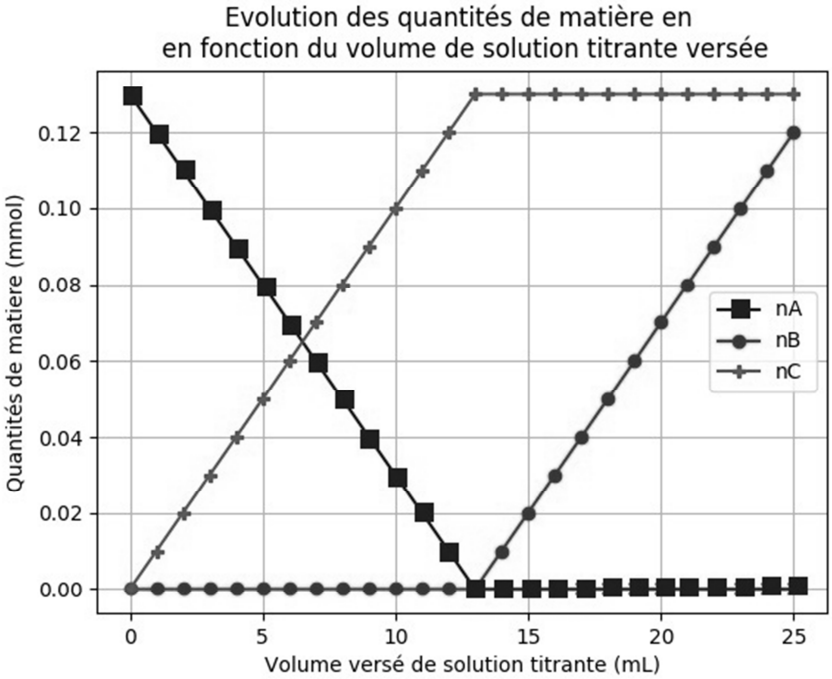


Figure 4 : Évolutions des quantités de matière des ions $Ag^+_{(aq)}$,), des ions $Cl^-_{(aq)}$ et du produit $AgCl_{(s)}$ au cours du titrage obtenues à l'aide du programme écrit en langage Python

EXERCICE C : La pile au méthanol

Mots clés de l'EXERCICE C : oxydo-réduction, volume molaire des gaz, capacité électrique d'une pile.

Une pile à méthanol fait partie de la famille 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**).

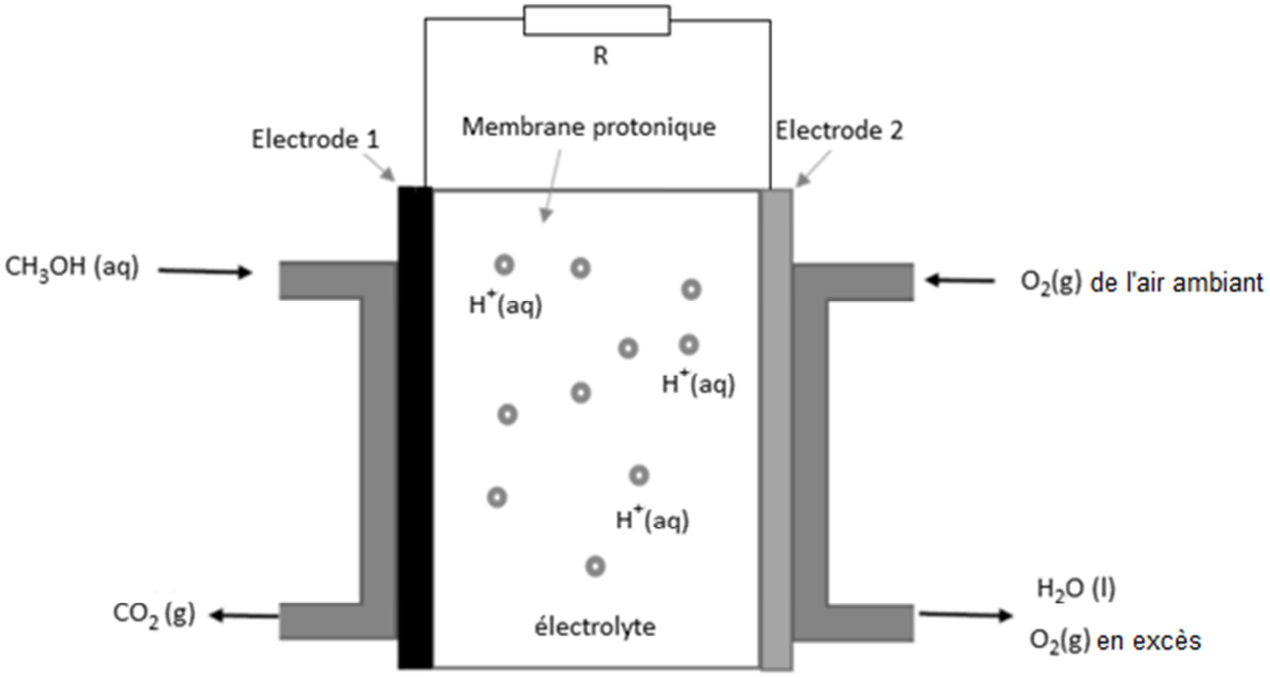


Figure 1 : La pile au méthanol en fonctionnement

Données :

- Masse molaire du méthanol : $M_{méthanol}$ = 32,0 g.mol^{-1}.
- Masse volumique du méthanol : $\rho_{éthanol}$ = 0,792 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 L.mol^{-1}.
- Constante de Faraday : $\mathcal{F}$ = 9,65 x 10^4 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 : $Q'_{max} = r \times Q_{max}$.
- Lorsqu'on associe des piles en série, leurs capacités électriques s'ajoutent.

<u>PARTIE A</u> : Étude 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.

A.1.2. Indiquer sur le schéma du circuit étudié donné dans **l'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE (p18/18)**, 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 À RENDRE AVEC LA COPIE (p18/18)**.

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.

On s'intéresse au fonctionnement de la pile au méthanol jusqu'à son usure. La transformation chimique au sein de la pile étant considérée comme totale, le réactif limitant a entièrement disparu lorsque la pile est usée.

A.3.1. Montrer que la quantité de matière de méthanol introduite dans la pile au méthanol a pour valeur $n(CH_3OH) = 1{,}2 \times 10^{-2}$ mol.

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

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

<u>PARTIE B</u> : 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. Pour y parvenir, ils doivent associer deux piles en série (**figure 2**). Ils mesurent alors que l'intensité du courant qui circule dans le circuit lorsque le ventilateur fonctionne vaut I = 450 mA. Chacune des piles a un rendement de 70 %.

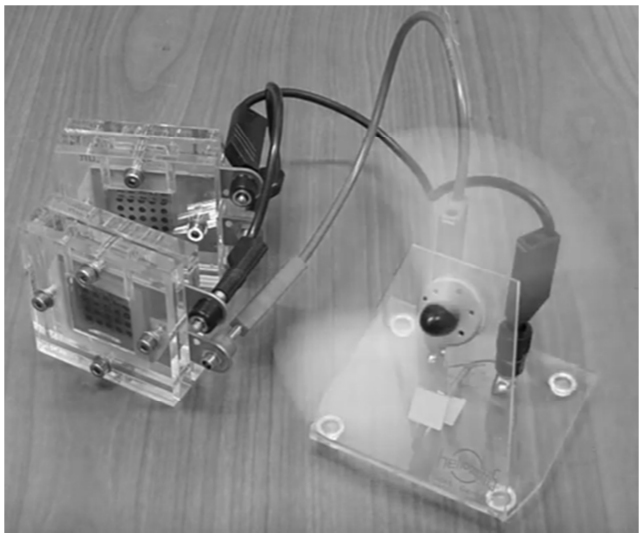


Figure 2 : Circuit l'alimentation du ventilateur

source : https://auditoires-physique.epfl.ch

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 À RENDRE AVEC LA COPIE (même non complétée)

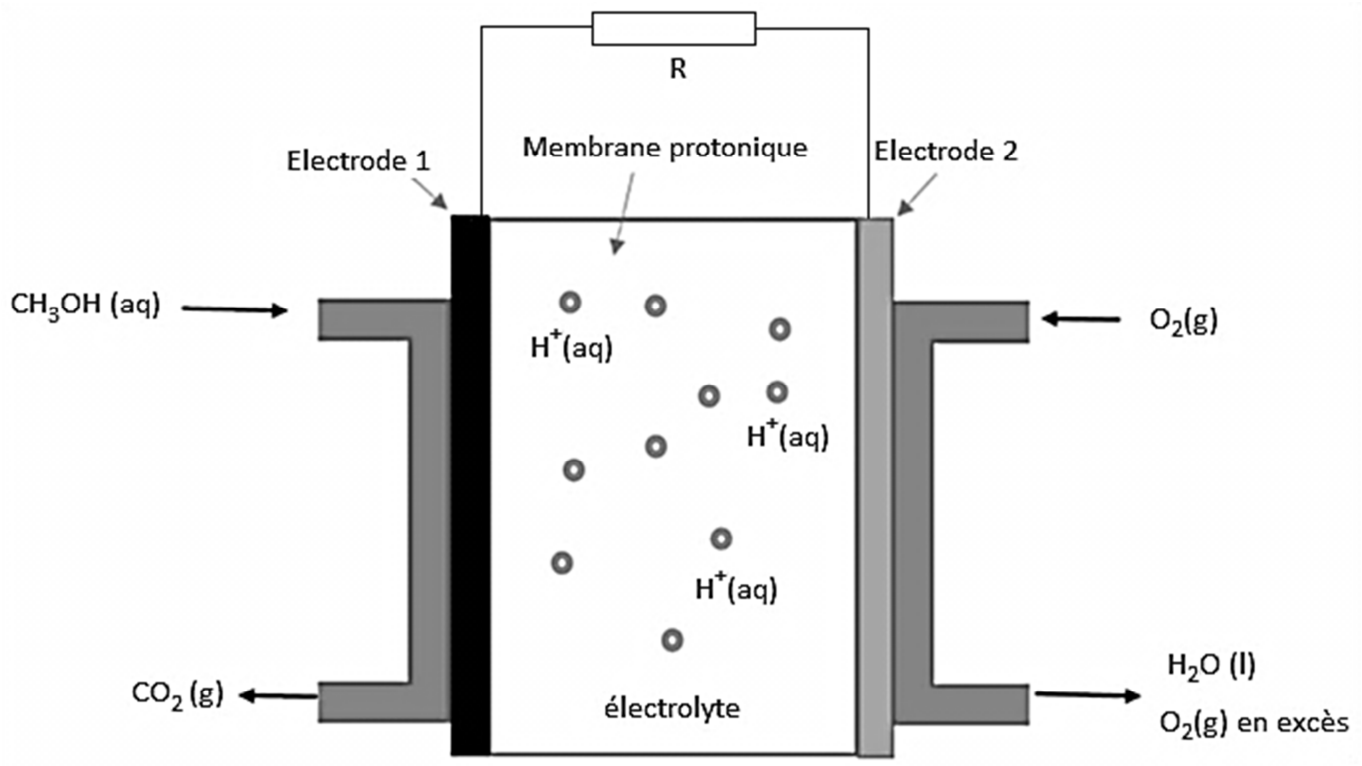
EXERCICE A : Étude de l'acide benzoïque et du benzoate de sodium

Question A.4.

Équation de la réaction					
État du système	Avancement (mol)	Quantités de matière (mol)			
État initial	0				
État final (à l'équilibre)	$x_{éq}$				

EXERCICE C : La pile au méthanol

Questions A.1.2. et A.1.4.



Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2