

CONCOURS BLANC

ÉPREUVE de PHYSIQUE - CHIMIE**Durée : 4 heures**

N.B. : le candidat attachera la plus grande importance à la clarté, à la précision et à la concision de la rédaction.

RAPPEL DES CONSIGNES

- *Utiliser uniquement un stylo noir ou bleu foncé non effaçable pour la rédaction de votre composition ; d'autres couleurs, excepté le vert, peuvent être utilisées, mais exclusivement pour les schémas et la mise en évidence des résultats.*
- *Ne pas utiliser de correcteur.*
- *Écrire le mot FIN à la fin de votre composition.*

Le sujet est composé de quatre parties indépendantes.

Le sujet comporte :

- le texte du sujet: page 2 à page 11
- l'annexe : pages 12 et 13 . **L'annexe est à rendre avec la copie.**

Barème :

Conseils aux candidats

Première partie : 30 % environ Deuxième partie : 30 % environ Troisième partie : 40 % environ.

Lorsqu'il est demandé de retrouver un résultat fourni par l'énoncé, la démarche scientifique adoptée par le candidat et les calculs menant au résultat seront examinés avec une grande attention. Les points seront attribués uniquement pour des justifications et des calculs terminés et détaillés.

Le premier problème aborde l'étude de la lunette de Galilée, classique et inversée ainsi que la condition de transmission d'un signal dans une fibre optique.

Le deuxième problème porte sur la mécanique en particulier sur la conception d'un toboggan aquatique.

Enfin, le troisième problème concerne le traitement de l'eau et la pile à combustible.

I OPTIQUE

La lunette de Galilée est constituée de deux lentilles minces dont les axes optiques sont confondus. La première lentille L_1 est une lentille **convergente** de distance focale f_1' , de centre optique O_1 . La deuxième lentille L_2 est une lentille **divergente** de distance focale f_2' , de centre optique O_2 .

L'observateur dirige la lunette vers un objet AB de hauteur h situé à la distance D de la lunette.



Données numériques : $h = AB = 0,70 \text{ m}$; $D = O_1A = 50 \text{ m}$; $f_1' = 0,80 \text{ m}$; $f_2' = - 0,08\text{m}$.

Q1. Déterminer la position de l'image A'B' de l'objet réel AB, par la lentille L_1 .

Est ce que ce résultat était prévisible sachant que l'objet peut être considéré comme étant à l'infini ?

Q2. Quelles sont la taille et le sens de cette image ?

Q3. En tenant compte des résultats précédents, situer ses foyers sur le schéma de la lentille L_1 .

Après avoir complété le trajet du rayon lumineux (provenant de l'infini) représenté sur la figure, trouver l'image A'B'. (cf. document réponse en annexe).

Q4. A'B' joue le rôle d'objet pour la lentille L_2 . L_2 est située à la distance $d = O_1O_2$ en arrière de L_1 . On donne $d = 0,70 \text{ m}$.

Quelle est la nature (objet réel ou virtuel) de l'objet A'B' pour la lentille L_2 ?

Q5. Construire l'image A''B'' de A'B' donnée par L_2 . (cf. document réponse en annexe).

Q6. Calculer la position et la taille de A''B'' et confirmer le résultat précédent.

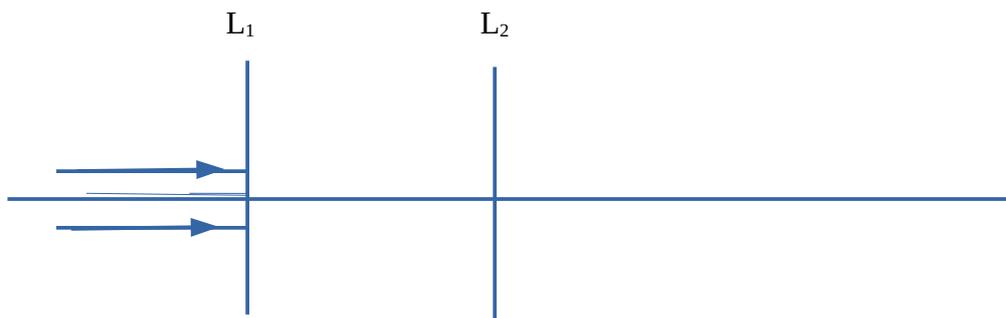
Cette fois, la lunette est une lunette de Galilée renversée. Elle est modélisée par une lentille divergente L_1 de distance focale $f'_1 = -20$ mm suivie d'une lentille convergente L_2 de distance focale $f'_2 = 100$ mm.

Ces deux lentilles constituent un doublet afocal : le foyer image de la première lentille coïncide avec le foyer objet de la seconde ($F'_1 = F_2$).

Les lentilles ne limitent pas l'étendue du faisceau. On suppose que le faisceau lumineux incident modélisant le faisceau laser est cylindrique et avec un diamètre de **3,0 mm**.

Q7. Le système est utilisé dans les conditions de l'approximation de Gauss, ce qui permet un stigmatisme approché. Énoncer ces conditions et définir la notion de stigmatisme.

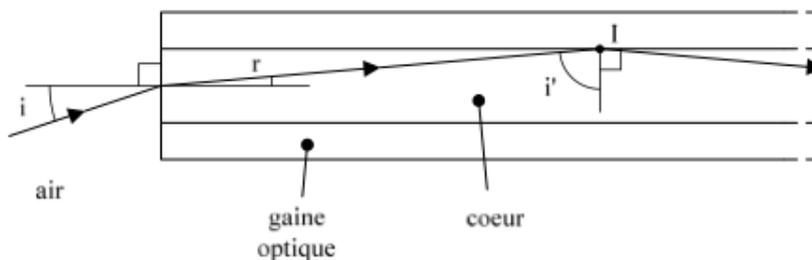
Q8. Schématiser le modèle optique proposé pour la lunette de Galilée renversée en illustrant la marche du faisceau cylindrique incident (rayons parallèles à l'axe optique) à travers le système des deux lentilles L_1 et L_2 . On prendra soin d'indiquer la position des foyers utiles de chacune des lentilles, ainsi que les centres de celles-ci. On choisira librement une échelle adaptée.



Q9. Dans cette configuration, calculer le diamètre du faisceau à la sortie de la lunette de Galilée renversée.



La fibre optique



Un rayon lumineux arrive de l'air (indice 1,00) sous une incidence i et pénètre dans la fibre d'indice n_1 .

Q10. Exprimez le sinus de l'angle de réfraction r en fonction de n_1 et i .

Q11. L'angle d'incidence sur la surface de séparation coeur-gaine est i' .

Donnez la relation entre i' et r et l'expression de $\cos i'$.

Q12. L'indice de la gaine a pour valeur n_2 ($n_2 < n_1$). Exprimez le sinus de l'angle limite de réfraction entre les milieux d'indice n_2 et n_1 .

Q13. Pour qu'un rayon lumineux puisse se propager dans la fibre, on doit avoir :

$$\sin i < \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \sin i_0 \quad \text{Démontrez cette relation.}$$

Q14. Calculez la valeur limite i_0 pour qu'un rayon lumineux pénétrant dans la fibre puisse s'y propager. Données: $n_1 = 1,48$ et $n_2 = 1,46$

Q15. Un rayon lumineux arrivant sous l'angle d'incidence $i = 20^\circ$ pourra-t-il se propager dans cette fibre?

Cette partie s'intéresse au mouvement d'un enfant sur un toboggan et des choix en matière de sécurité qui doivent en découler .

II MÉCANIQUE

Sécurisation de la zone d'arrivée d'un toboggan aquatique

Dans tout ce qui suit, on s'intéresse à un enfant modélisé par un point matériel M , de masse $m = 50 \text{ kg}$, qui glisse sur un toboggan dont le schéma est donné en **figure 1**.

L'enfant se laisse glisser sur le toboggan depuis le point A d'altitude $H = 21,0 \text{ m}$ sans vitesse initiale. Il termine sa glissade au point B d'altitude $h = 1,0 \text{ m}$ avec une vitesse horizontale qui lui permet d'atteindre un point C à la surface de l'eau de la piscine.

Une discussion s'engage lors de la conception du toboggan pour savoir dans quelle zone de la piscine il faudra interdire les baigneurs pour éviter toute collision avec l'enfant qui arrive dans la piscine.

Par la suite, on prendra $g = 10 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$.

On suppose tout d'abord qu'un filet d'eau annule les frottements de l'enfant sur toute la longueur $L = 37,5 \text{ m}$ de la piste du toboggan.

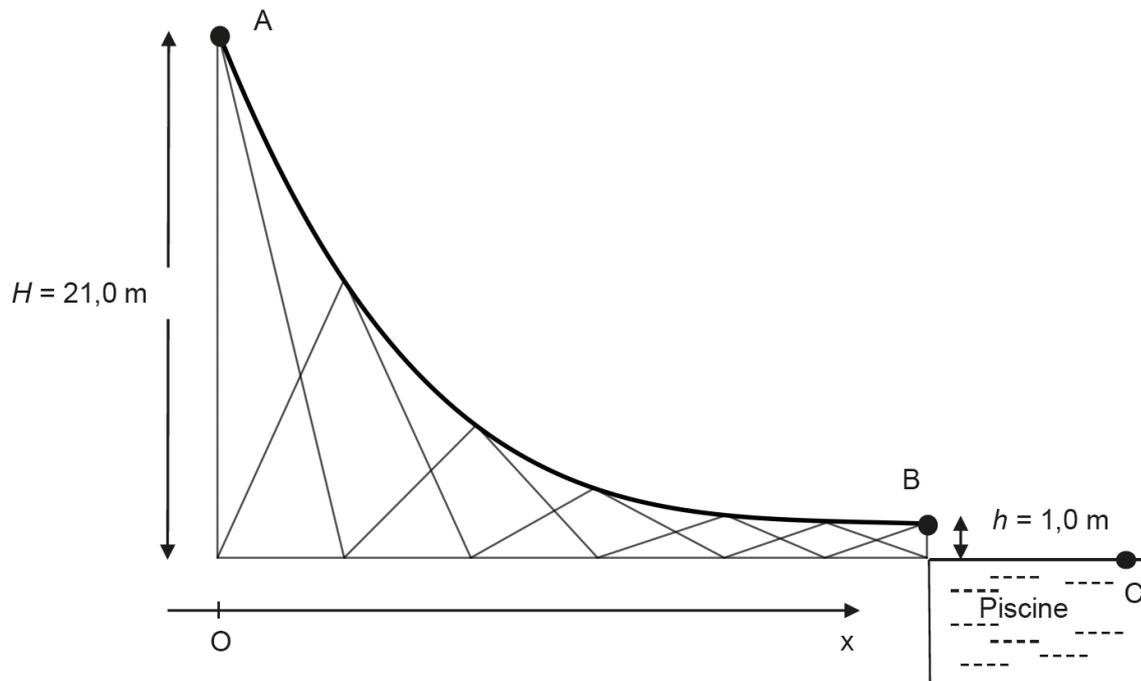


Figure 1 - Schéma d'implantation du toboggan par rapport à la piscine

Q16. Exprimer, puis calculer le travail $W(\vec{P})$ du poids de l'enfant lors de cette descente de A vers B.

Q17. Citer le théorème de l'énergie cinétique. L'appliquer à l'enfant qui glisse sans frottement entre les points A et B et en déduire l'expression de la vitesse v_B sans frottement atteinte au point B en fonction des données.

Q18. Donner la valeur de cette vitesse v_B sans frottement.

En réalité, les frottements existent et la vitesse au point B, horizontale, vaut $v_B = 10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Q19. Faire figurer sur un schéma, sans souci d'échelle, les forces appliquées sur le point M en un endroit quelconque de la glissade.

Q20. Exprimer, puis calculer le travail $W(\vec{F})$ de cette force de frottement \vec{F} sur le trajet AB.

Q21. Donner l'expression du travail élémentaire de la force de frottement $\delta W(\vec{F})$ pour en déduire une expression du travail $W(\vec{F})$ sur le trajet AB, en supposant la force de frottement de norme F constante sur le trajet.

Q22. Déduire ainsi la norme F de la force de frottement.

On s'intéresse maintenant à la localisation du point de chute C dans l'eau avec une vitesse horizontale en B, $v_B = 10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Le mouvement de l'enfant dans l'air est supposé sans frottements. On rappelle que la hauteur entre B et C vaut $h = 1,0 \text{ m}$. Pour les besoins de cette question, on donne $\sqrt{0,2} = 0,45$.

Q23. En détaillant votre raisonnement, exprimer, puis calculer la distance horizontale d depuis B parcourue par l'enfant lorsqu'il arrive au contact avec l'eau au point C.

Lorsqu'il arrive dans l'eau au point C, l'enfant, toujours assimilé à un point matériel M de masse m , subit une force de frottement fluide \vec{F}' telle que $\vec{F}' = -k\vec{v}$. On s'intéresse uniquement à la composante horizontale $v_x(t)$ de la vitesse v de l'enfant dans l'eau.

Q24. Montrer que cette composante horizontale de vitesse $v_x(t)$ répond à l'équation différentielle :

$$\frac{dv_x}{dt} + \frac{k}{m}v_x = 0 \quad \text{avec comme condition initiale } v_x(0) = v_B.$$

Q25. En déduire dans ce cas l'expression d'un temps caractéristique de ralentissement.

Une analyse vidéo a permis d'obtenir en **figure 2** la courbe d'évolution de $v_x(t)$ qui confirme l'existence d'une force de frottement.

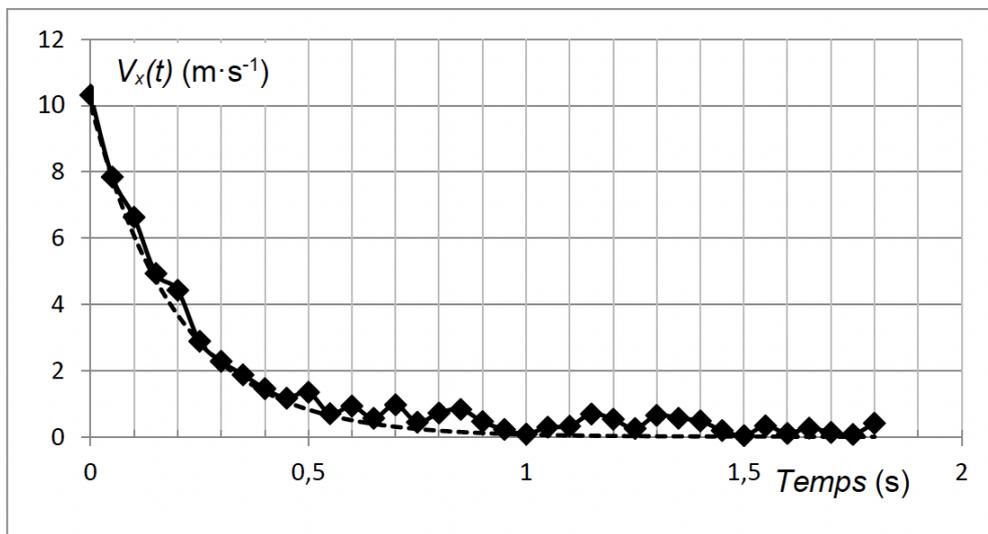


Figure 2 - Évolution de la composante horizontale de la vitesse, $v_x(t)$, en fonction du temps

Q26. Proposer un modèle mathématique pour cette courbe dans le cadre de l'hypothèse précédente sur l'expression de la force de frottement.

Q27. En déduire alors graphiquement, en estimant la valeur du temps caractéristique τ , celle de k coefficient de force de frottement fluide.

Q28. Déterminer la distance horizontale, notée d' et mesurée à partir du point C, parcourue sous l'eau par le point M. Conclure vis-à-vis des consignes de sécurité de la piscine.

On souhaite tester la validité du modèle mathématique proposé en Q26, en le comparant aux données expérimentales extraites de la vidéo (cf. graphe en Q27).

Un programme Python est proposé en **annexe**.

Il permet de :

- calculer les valeurs du modèle à des instants t ,
- les comparer aux valeurs expérimentales (stockées dans une liste V_{exp}),
- calculer les écarts absolus et leur moyenne.

Grâce à une analyse vidéo, on a relevé la vitesse instantanée horizontale, tous les 5/100e de seconde. Dans ce programme, ces vitesses expérimentales sont stockées dans la liste V_{exp} (dont on n'a retranscrit ici que le début...).

Le rôle de la fonction `Vmodele` est donné par sa docstring.

Q29. Compléter alors la ligne 9 du programme, à l'aide de l'expression mathématique de la vitesse calculée suivant le modèle (voir Q26).

Q30. Compléter la la ligne 23 de la fonction `Lecarts` pour qu'elle renvoie la liste des écarts entre les valeurs expérimentales et les valeurs du modèle. On rappelle qu'en python on obtient la valeur absolue d'un nombre x avec la fonction `abs(x)`.

Q31. Compléter le code de la fonction `ecarts_moyen` qui reçoit une liste de valeurs expérimentales et qui renvoie la moyenne des écarts entre les valeurs expérimentales et les valeurs du modèle.

III CHIMIE

Traitement de l'eau

La qualité de l'eau des bassins doit sans cesse être surveillée pour éviter tout problème de prolifération d'algues ou tout dérèglement pouvant nuire à la santé des baigneurs. Différents traitements existent : on s'intéresse en particulier au traitement grâce à l'oxygène actif qui est assimilé à un ajout de solution d'eau oxygénée dont le principe actif est le peroxyde d'hydrogène H_2O_2 .

Q32. Donner la configuration électronique puis le nombre d'électrons de valence des atomes d'oxygène (numéro atomique $Z = 8$) et d'hydrogène (numéro atomique $Z = 1$).

Q33. En déduire la formule de Lewis du peroxyde d'hydrogène H_2O_2 .

Q34. Indiquer, justification à l'appui, si la liaison O-O est polarisée.

Q35. Donner le degré d'oxydation (n.o.) de l'oxygène dans les trois composés suivants : O_2 , H_2O et H_2O_2 .

H_2O_2 intervient dans les deux couples oxydant/réducteur suivants : $H_2O_{2(aq)}/H_2O_{(l)}$ et $O_{2(g)}/H_2O_{2(aq)}$.

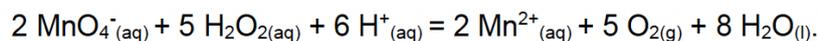
Q36. Écrire les deux demi-équations électroniques associées à ces deux couples

Document - Titre en oxygène actif pour une solution de traitement d'eau de piscine

Le titre, exprimé en volumes (vol.), représente le volume de $O_{2(g)}$, exprimé en litres et mesuré dans les conditions normales de température et de pression, susceptible de se dégager lors de la décomposition du peroxyde d'hydrogène $H_2O_{2(aq)}$ présent dans 1,0 L de solution.

Le volume molaire des gaz dans ces conditions est $V_m = 22,4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Il est possible d'effectuer un titrage colorimétrique de $H_2O_{2(aq)}$ par une solution aqueuse de permanganate de potassium ($K^+_{(aq)}$, $MnO_4^-_{(aq)}$) à $c_2 = 0,020 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. L'équation de réaction entre les ions permanganate et le peroxyde d'hydrogène est :



Données

Potentiels standards à 298 K :

$$E^\circ_1 = E^\circ(\text{MnO}_4^-_{(aq)}/\text{Mn}^{2+}_{(aq)}) = 1,51 \text{ V} \text{ et } E^\circ_2 = E^\circ(\text{O}_{2(g)}/\text{H}_2\text{O}_{2(aq)}) = 0,69 \text{ V}.$$

On donne aussi, à $T = 298 \text{ K}$, la relation $\frac{R \cdot T}{F} \ln(a) = 0,06 \log(a)$.

Q37. Retrouver l'équation bilan du dosage à partir des demi-équations rédox.

Q38. Déterminer la constante d'équilibre de la réaction de titrage ci-dessus. Conclure.

Q39. Décrire la préparation, par dilution d'un facteur 10, de 100,0 mL de solution (S) de $\text{H}_2\text{O}_{2(\text{aq})}$ à partir de la solution commerciale de traitement à l'oxygène actif.

L'équivalence, pour un titrage de 10,0 mL de (S), a lieu pour un volume équivalent $v_{\text{eq}} = 16,0$ mL.

Q40. Effectuer un schéma légendé du dispositif de titrage.

Q41. En déduire la concentration c_1 en $\text{H}_2\text{O}_{2(\text{aq})}$ dans (S), puis sa concentration c dans la solution commerciale.

Q42. Déterminer alors le titre en $\text{H}_2\text{O}_{2(\text{aq})}$ de la solution commerciale.

Le dihydrogène : un carburant vert

L'hydrogène est considéré comme le vecteur d'énergie de demain.

L'atome d'hydrogène, associé à l'atome d'oxygène, sous forme d'eau, est très abondant sur Terre et sa molécule, H_2 , est environ 3 fois plus énergétique que les combustibles fossiles couramment utilisés. Le dihydrogène est le combustible idéal des piles à combustible dihydrogène-dioxygène qui produisent de l'électricité au moyen d'une réaction électrochimique avec l'air, sans émission de gaz à effet de serre, contrairement au gaz naturel ou au pétrole.

Le dihydrogène est le moyen le plus efficace pour convertir l'énergie chimique en énergie électrique mais la synthèse, le stockage et l'approvisionnement en dihydrogène sont une partie du défi à relever.

Le stockage reste pour l'instant au centre des problèmes que pose l'utilisation du dihydrogène à bord d'un véhicule. Les constructeurs demandent en effet une autonomie de **500 km** environ ; compte-tenu du pouvoir calorifique du dihydrogène, il est nécessaire d'en stocker environ une masse **$m = 3$ kg**.

Le développement d'une véritable « économie de l'hydrogène » repose sur la mise au point d'un mode de stockage efficace et sûr. Les solutions actuelles (gaz à très haute pression ou liquide cryogénique) posent des problèmes de sécurité, d'encombrement (densité volumique très faible) et de coût énergétique.

On donne les masses molaires M , les numéros atomiques Z et les nombres de masse A des atomes suivants :

- Pour l'hydrogène H : $M_{\text{H}} = 1,0 \text{ g.mol}^{-1}$, $Z = 1$, $A = 1$;
- Pour l'oxygène O : $M_{\text{O}} = 16,0 \text{ g.mol}^{-1}$, $Z = 8$, $A = 16$;
- Pour le carbone C : $M_{\text{C}} = 12,0 \text{ g.mol}^{-1}$, $Z = 6$, $A = 12$.

Impacts des énergies fossiles

Outre leur épuisement inéluctable, l'exploitation de combustibles fossiles est à l'origine de problèmes environnementaux relatifs aux dégâts écologiques liés à leur extraction et à leur utilisation. En effet, les gaz à effet de serre tel que le dioxyde de carbone émis massivement par leur combustion et le méthane émis lors de l'extraction et du transport du gaz naturel seraient en grande partie responsable du réchauffement climatique.

Comparatif dihydrogène / combustible fossile

On estime à **20 kW** la puissance nécessaire pour faire rouler une voiture sur route plate par vent nul à **100 km/h**. On souhaite comparer différents moyens permettant d'utiliser une voiture d'une autonomie de **500 km**.

Voici quelques données techniques :

- énergie massique du carburant sans plomb 98 : $W_1 = 12,3 \text{ kW.h.kg}^{-1}$;
- constante des gaz parfaits $R = 8,3 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$;
- pression ambiante : $P_0 = 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$;
- température ambiante : $T_0 = 298 \text{ K}$;

Loi des gaz parfaits : $PV = nRT$ (P est la pression du gaz, V son volume, T sa température et n la quantité de matière, $R = 8,3 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$ est la constante des gaz parfaits)

Q43. Calculer l'énergie nécessaire pour assurer ce trajet en watt.heures (W.h) puis en joules.

Q44. Calculer la masse m_1 de carburant sans plomb 98 nécessaire.

En menant le même raisonnement, on peut prouver qu'il faudrait installer une batterie lithium-ion pesant $m_2 = 800 \text{ kg}$ ou stocker $m_3 = 3 \text{ kg}$ de dihydrogène pour alimenter une pile à combustible.

Q45. Le dihydrogène étant considéré comme un gaz parfait, quel volume occuperait une telle quantité de dihydrogène s'il était stocké à pression et température ambiantes ?

Q46. Dans le but d'assurer l'autonomie des voitures dans un avenir proche :

-à quelle condition peut-on envisager de remplacer les carburants fossiles par des batteries ?

-à quelle condition peut-on envisager de remplacer les carburants fossiles par des piles combustible ?

La pile à hydrogène

Le dihydrogène peut être utilisé en tant que combustible dans une pile à hydrogène selon une réaction d'oxydo-réduction.

Les deux réactifs sont le dihydrogène et le dioxygène présent dans l'air.

Les couples d'oxydo-réduction mis en jeu sont ceux de l'eau :

$$E^\circ(\text{O}_{2(\text{g})}/\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}) = 1,23 \text{ V et } E^\circ(\text{H}^+_{(\text{aq})}/\text{H}_{2(\text{g})}) = 0 \text{ V.}$$

Pour mettre en œuvre cette réaction, on dispose de deux électrodes, l'anode et la cathode, séparées par un électrolyte. La pile débite dans une charge résistive modélisée par une résistance R .

Q47. Écrire les demi-équations électroniques relatives au fonctionnement de la pile.

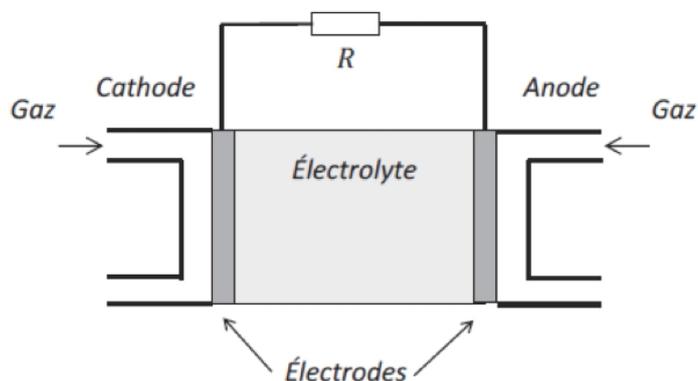
Q48. En déduire l'équation de la réaction ayant lieu lorsque la pile débite.

Calculer sa constante d'équilibre à 25°C. Commenter.

Q49. Recopier et compléter le schéma de la pile à hydrogène présenté ci-dessous en repérant les espèces en présence à l'anode et à la cathode.

Indiquer le sens conventionnel du courant électrique I et le sens de circulation des électrons.

Indiquer les polarités des électrodes.



Q50. Calculer la force électromotrice de la pile dans les conditions standards ($\text{pH} = 0$, pressions égales à 1 bar et concentrations égales à 1 mol/L).

Q51. On estime à 2500 moles la quantité de matière de dihydrogène nécessaire pour faire rouler une voiture sur une distance de 500 kilomètres.

Quelle est la quantité de matière d'électrons, n_e , nécessaire pour parcourir 100 kilomètres ?

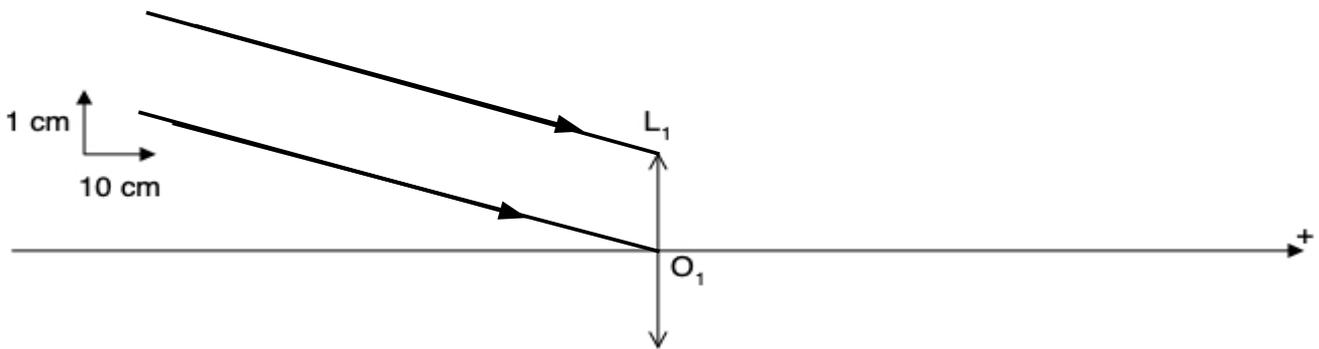
Q52. Quelle est la charge électrique Q libérée par ces porteurs de charge ?

On donne le nombre de Faraday $F = 96\,500 \text{ C}\cdot\text{mol}^{-1}$.

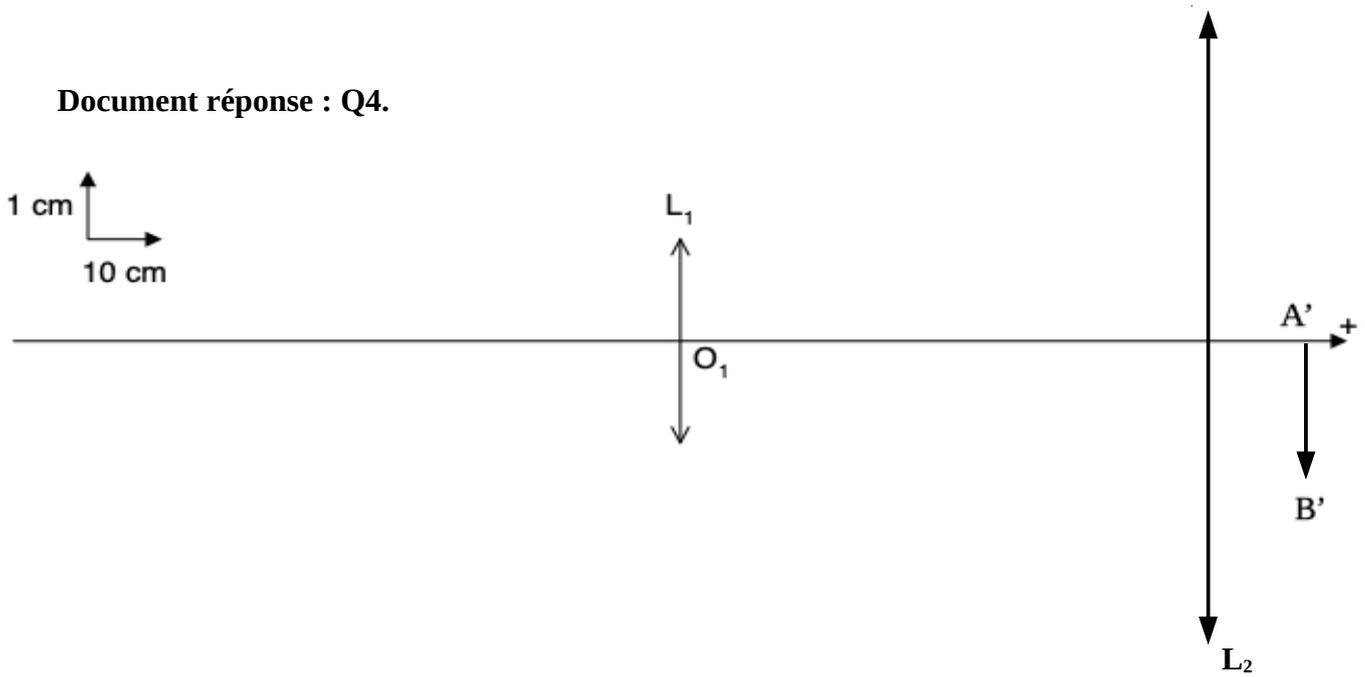
Q53. En réalité, la pile à hydrogène est constituée de 256 cellules câblées en série, délivrant une tension de 0,7 V chacune. Elle développe par ailleurs une puissance totale de 20 kW. Déterminer le temps nécessaire pour parcourir la distance désirée de 500 kilomètres.

ANNEXE

Document réponse : Q3.



Document réponse : Q4.



Programme python

```
1 import math
2
3 k = 125      # coefficient de frottement fluide
4 m = 50      # masse du mobile
5 v0 = 10     # vitesse initiale du mobile
6 dt = 0.05   # intervalle de temps entre deux mesures (5/100e de seconde)
7
8 # Vexp est une liste de valeurs expérimentales de la vitesse horizontale
9 Vexp = [10.1, 7.9, 6.5, 5.0, ...]
10
11 def Vmodele(t : float) -> float:
12     """ Reçoit une valeur de t et renvoie la vitesse horizontale
13         calculée par le modèle à cet instant t. """
14     return # ... à compléter ...
15
16 def Lecarts(Vexp : list) -> list :
17     """ Reçoit une liste Vexp de valeurs expérimentales de la vitesse
18         horizontale et renvoie une liste dv des écarts entre les
19         valeurs expérimentales et les valeurs du modèle. """
20     dv = []
21     for i in range(len(Vexp)):
22         ti = i*dt
23         # ... à compléter ...
24     return dv
25
26 def ecarts_moyen(Vexp : list) -> float:
27     """ Reçoit une liste Vexp de valeurs expérimentales de la vitesse
28         horizontale et renvoie l'écart moyen entre les valeurs
29         expérimentales et les valeurs du modèle. """
30     # ... à compléter ...
31
32 print(f"Écart moyen entre le modèle et l'expérience : {ecarts_moyen(Vexp)} m/s")
```