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

SUJET D'EXAMEN (SESSION OFFICIELLE)

Physique-chimie - Session 2023

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 2023

PHYSIQUE-CHIMIE

Jour 1

Durée de l'épreuve : **3 heures 30**

Matériel autorisé

L'usage de la calculatrice **avec le mode examen activé** 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 13 pages numérotées de 1/13 à 13/13.

Le candidat traite l'intégralité du sujet, qui se compose de 3 exercices.

ATTENTION : l'annexe (page 13/13) est à rendre avec la copie.

EXERCICE 1 : UN « JET DE 7 MÈTRES » AU HANDBALL (11 POINTS)



Source : hbcnantes.com

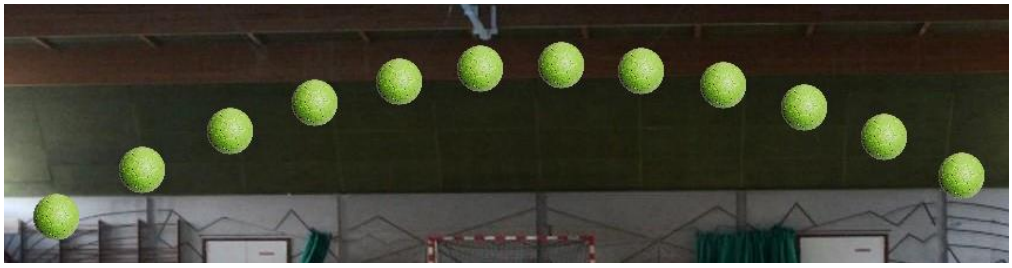
Lors du match de handball opposant le club du HBC Nantes à l'US Ivry en 2020 au palais des sports de Beaulieu, le joueur nantais Valero Rivera se trouve face au gardien adverse pour un « jet de 7 mètres », le joueur étant placé à 7 mètres du but – l'équivalent du pénalty au football. Parmi les diverses options de tir qui s'offrent à lui, il choisit le lob, une trajectoire en cloche au-dessus du gardien avancé.

Les objectifs de l'exercice sont, dans une première partie, d'étudier le mouvement d'un ballon lors d'un tir similaire filmé, et dans une seconde partie, d'étudier quelques caractéristiques des ondes sonores perçues à l'intérieur du palais des sports.

Les deux parties de cet exercice sont indépendantes.

A. Étude du mouvement d'un ballon lors du tir au-dessus du gardien

Un « jet de 7 mètres » a été reproduit et filmé au gymnase, la chronophotographie du mouvement du ballon est la suivante :



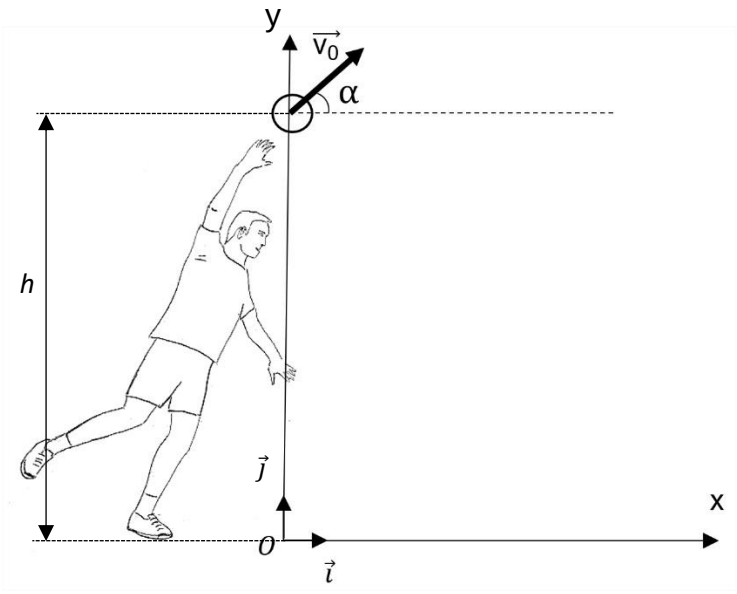
Données :

- intensité du champ de pesanteur terrestre : $g = 9{,}81\ m \cdot s^{-2}$;
- constante universelle de gravitation : $G = 6{,}67.10^{-11}\ m^3 \cdot kg^{-1} \cdot s^{-2}$;
- hauteur de la barre transversale d'un but de handball : 2,0 m.

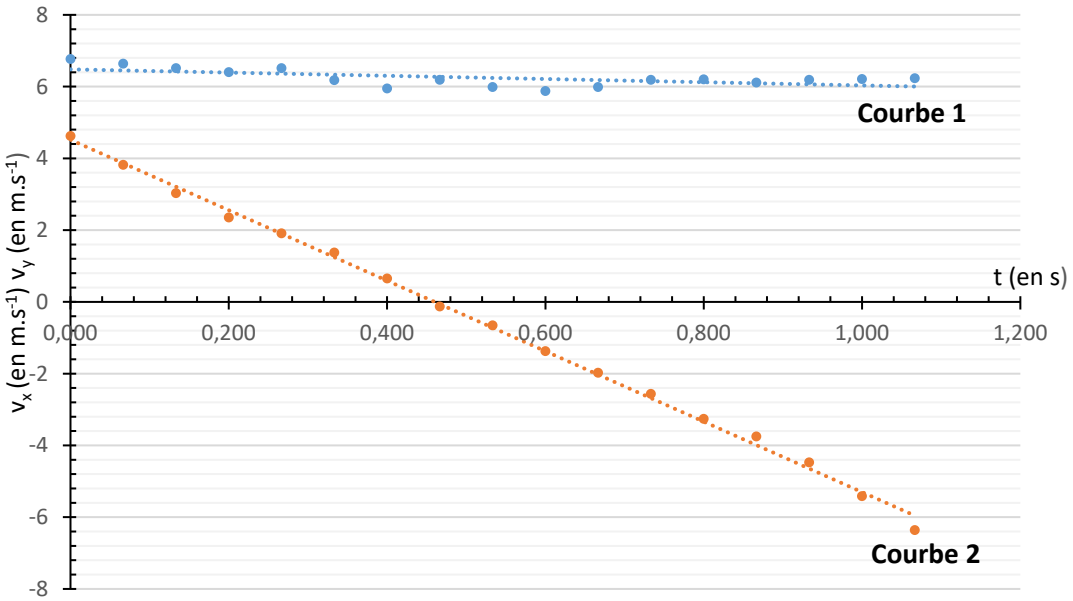
Exercice 1

Dans cette étude :

- Le système étudié est le ballon, les coordonnées de la position de son centre de masse G sont notées (x ; y) dans le repère $\mathcal{R}$(O, $\vec{i}$, $\vec{j}$).
- Dans ce repère, les coordonnées du vecteur vitesse du ballon sont notées (v_x ; v_y) et celles de son vecteur accélération sont notées (a_x ; a_y).
- Le vecteur vitesse initiale $\overrightarrow{v_0}$ du ballon forme un angle α avec l'horizontale.



- L'action de l'air sur le ballon est négligée.
- L'instant t = 0 correspondant à l'origine des dates est choisi juste après que le ballon a quitté la main du tireur. À cet instant, les coordonnées du centre de masse G du ballon sont (x_0 = 0 ; y_0 = h = 2,34 m)
- Les courbes représentant les coordonnées du vecteur vitesse au cours du temps, après étalonnage du repère et pointage des positions successives du centre du ballon, sont données ci-dessous :



Évolution des coordonnées Vx et Vy du vecteur vitesse au cours du temps

Q.1. Nommer le référentiel dans lequel la trajectoire du ballon est observée sur la chronophotographie.

Q.2. En précisant certaines hypothèses, établir l'expression du vecteur accélération du centre de masse du ballon lors du tir. Établir les coordonnées de ce vecteur dans le repère $\mathcal{R}$ $(O, \vec{i}, \vec{j})$.

Q.3. Parmi les expressions proposées pour l'intensité du champ de pesanteur terrestre, déterminer par analyse dimensionnelle celle qui est homogène (on note M_T la masse de la Terre et R_T son rayon) :

a) $g = \frac{G \cdot M_T^2}{R_T}$ b) $g = \frac{G \cdot M_T}{R_T^2}$ c) $g = \frac{G + M_T}{R_T^2}$

Q.4. Montrer que les expressions des coordonnées du vecteur vitesse du centre de masse du ballon lors du tir sont :

$$v_x(t) = v_0 \cdot \cos(\alpha) \quad ; \quad v_y(t) = -g \cdot t + v_0 \cdot \sin(\alpha)$$

Q.5. Sur le graphique représentant l'évolution des coordonnées du vecteur vitesse au cours du temps, identifier la courbe correspondant à v_x et celle correspondant à v_y. Justifier.

Q.6. Calculer à partir de ces courbes la norme v_0 du vecteur vitesse initiale, ainsi que la valeur de l'angle α.

Q.7. Établir les équations horaires $x(t)$ et $y(t)$ du mouvement lors du tir.

Q.8. En déduire que l'équation $y(x)$ de la trajectoire s'écrit :

$$y(x) = -\frac{1}{2} \cdot g \cdot \frac{x^2}{v_0^2 \cdot \cos^2(\alpha)} + \tan(\alpha) \cdot x + h$$

Q.9. Le gardien étant situé à 4,0 m du tireur, déterminer si le « jet de 7 mètres » étudié permet de marquer un but. On considère que le gardien peut atteindre avec son bras levé une hauteur maximale de 2,8 m en plein saut.

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.

B. Étude des ondes sonores produites par le sifflet de l'arbitre

Lors d'un « jet de 7 mètres », l'arbitre est placé à proximité du but. Il donne un bref coup de sifflet pour indiquer au joueur qu'il peut déclencher son tir. Le niveau d'intensité sonore L perçu par l'arbitre, dont l'oreille est située à une distance de 15 cm du sifflet, est égal à 115 dB.

Données :

- le niveau d'intensité sonore, noté L, est lié à l'intensité sonore I par la relation :

  $L = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$ avec L exprimé en dB, I et I_0 en $W \cdot m^{-2}$ et $I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}$ $W \cdot m^{-2}$ (intensité sonore correspondant au seuil d'audibilité) ;

- 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 selon la relation (ou d exprimée en m est la distance qui sépare le récepteur de la source) :

$$I = \frac{P}{4\pi \cdot d^2}$$

- durée limite d'exposition d'un individu sans protection avant dommages :

Niveau d'intensité sonore	Durée limite d'exposition
de 120 à 140 dB	quelques secondes suffisent à provoquer des dégâts irréversibles
107 dB	1 min par jour
101 dB	4 min par jour
95 dB	15 min par jour
92 dB	30 min par jour
86 dB	2h par jour
80 dB	8h par jour

D'après cochlea.org/bruit-attention-danger-!-protection

Q.10. Au cours d'un match, l'arbitre donne environ 200 coups de sifflet. La durée moyenne du coup de sifflet étant de 0,3 s, indiquer si l'arbitre encourt un risque auditif. Justifier.

Q.11. Proposer une solution simple que l'arbitre pourrait envisager pour se protéger. Nommer le type d'atténuation correspondant.

Q.12. Calculer l'intensité sonore I perçue par l'arbitre sans protection lors du coup de sifflet.

Q.13. Montrer que la puissance de la source sonore constituée par le sifflet est égale à $P = 8{,}9 \times 10^{-2}$ W.

Un spectateur proche du terrain est situé à 5,0 m de l'arbitre. On admet que le seul son parvenant à son oreille est celui émis par le sifflet, considéré comme une source isotrope.

Q.14. Déterminer le niveau d'intensité sonore que ce spectateur perçoit.

Q.15. Déterminer la valeur de l'atténuation correspondant à la différence de niveau d'intensité sonore perçue entre l'arbitre et le spectateur à 5,0 m. Quel nom donne-t-on à ce type d'atténuation ?

En réalité, le son produit par le sifflet se superpose au bruit ambiant. En dehors des « pics » de bruit produits par le public manifestant sa joie suite à un but marqué ou par les coups de sifflets de l'arbitre, le niveau d'intensité sonore dû au bruit ambiant, perçu par chaque spectateur, est égal à 75 dB. À 15 m de l'arbitre, l'intensité sonore due au son du sifflet a même valeur que celle due au bruit ambiant.

Q.16. Déterminer le niveau d'intensité sonore global perçu par un spectateur à cette distance.

EXERCICE 2 : UN ASSOUPLISSANT « FAIT MAISON » (5 POINTS)

Les produits ménagers commerciaux sont une source importante de déchets qu'on cherche à réduire.

Dans cet exercice, on s'intéresse à la fabrication d'un assouplissant « fait maison » à partir de vinaigre commercial et de bicarbonate de soude.

A. Vinaigre commercial

Un vinaigre commercial à 8 % est une solution aqueuse d'acide éthanoïque de formule CH_3COOH contenant 8 g d'acide éthanoïque pour 100 g de solution. Pour vérifier la valeur de ce pourcentage, appelé pourcentage massique, on réalise un dosage par titrage à l'aide d'un suivi pH-métrique. La solution commerciale est diluée 10 fois. On obtient une solution notée S dont on prélève 10,0 mL que l'on titre par une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium de concentration C_B égale à 0,10 mol·L^{-1}.

Données :

- masse volumique à T = 20 °C du vinaigre commercial : ρ = 1,01 g·mL^{-1} ;
- couple acide éthanoïque / ion éthanoate : pK_A ($CH_3COOH_{(aq)}$/ $CH_3COO^-_{(aq)}$) = 4,8 à 25 °C ;
- couple eau / ion hydroxyde : $H_2O_{(\ell)}$/ $HO^-_{(aq)}$;
- masses molaires atomiques :

M_H = 1,0 g·mol^{-1} ; M_C = 12,0 g·mol^{-1} ; M_O = 16,0 g·mol^{-1}.

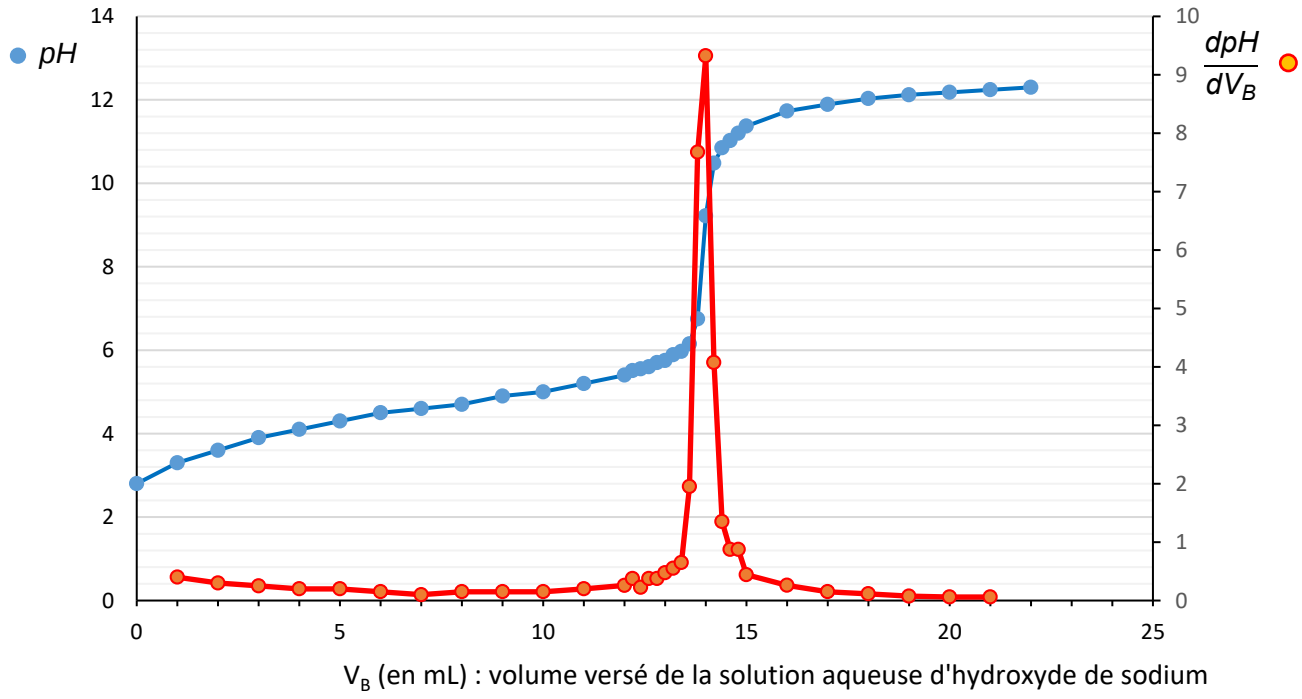


Figure 1. courbe de suivi pH-métrique du titrage de la solution S

Q.1. Indiquer la verrerie nécessaire pour préparer 50,0 mL de solution S par dilution du vinaigre commercial.

Q.2. Écrire l'équation de la réaction support du titrage entre l'ion hydroxyde et l'acide éthanoïque.

Q.3. À l'aide de la figure 1, montrer que la concentration C_{com} en quantité de matière d'acide éthanoïque apportée dans le vinaigre commercial est égale à 1,4 mol·L^{-1}.

Q.4. En déduire le pourcentage massique en acide éthanoïque obtenu expérimentalement et le comparer à la valeur annoncée par le fabricant, sachant que l'incertitude-type du titrage sur le pourcentage massique vaut $u(\%) = 0{,}2$ %.

On souhaite revenir maintenant à l'étude de la solution S de départ de concentration en quantité de matière notée C_S. On va déterminer le *pH* de cette solution S.

L'équation de la réaction modélisant la transformation entre l'acide éthanoïque et l'eau est :

$$CH_3COOH(aq) + H_2O(\ell) \rightleftharpoons CH_3COO^-(aq) + H_3O^+(aq)$$

Q.5. En utilisant éventuellement un tableau d'avancement, montrer qu'à l'équilibre la constante d'acidité du couple $CH_3COOH(aq)/ CH_3COO^-(aq)$ peut s'exprimer de la manière suivante :

$$\text{relation 1 : } K_A = \frac{[H_3O^+]_{éq}^{\ 2}}{(C_S - [H_3O^+]_{éq}) \times c^\circ} \quad \text{avec } c^\circ = 1 \text{ mol·L}^{-1}$$

La relation 1 peut aussi s'écrire : $[H_3O^+]_{éq}^{\ 2} + K_A \times c^\circ \times [H_3O^+]_{éq} - K_A \times C_S \times c^\circ = 0$

Q.6. En déduire la valeur du *pH* de la solution diluée S et montrer qu'elle est cohérente avec celle lue sur la courbe de titrage.

B. Bicarbonate de soude

Le bicarbonate de soude acheté dans le commerce est un solide aussi appelé hydrogénocarbonate de sodium, de formule $NaHCO_3$. C'est un ingrédient de base de nombreux cosmétiques ou produits ménagers « faits maison ».

On peut l'associer au vinaigre commercial afin de réaliser une solution d'assouplissant pour le linge. Une recette possible est la suivante :

- Verser deux cuillères à soupe de bicarbonate de soude.
- Ajouter 300 mL de vinaigre commercial. *Attention à la réaction effervescente : verser doucement.*
- Ajouter 300 mL d'eau tiède.
- Une fois la transformation chimique terminée, compléter avec de l'eau pour obtenir 1 L de produit. Ajouter quelques gouttes d'huile essentielle de votre choix.

Données :

- couple acide éthanoïque / ion éthanoate : pK_A ($CH_3COOH_{(aq)}$/ $CH_3COO^-_{(aq)}$) = 4,8 ;
- couple dioxyde de carbone aqueux / ion hydrogénocarbonate :
  pK_A ($CO_{2(g)}$,$H_2O_{(\ell)}$/ $HCO^-_{3(aq)}$) = 6,4 ;
- couple ion hydrogénocarbonate / ion carbonate : pK_A ($HCO^-_{3(aq)}$ / $CO^{2-}_{3(aq)}$) = 10,3.

Dans les conditions de la recette, le bicarbonate de soude est introduit en large excès.

Lorsque la concentration maximale en dioxyde de carbone dissous dans l'eau est atteinte, celui-ci s'échappe de la solution sous forme gazeuse.

Q.7. Expliquer l'effervescence observée après l'ajout du vinaigre. Une équation de réaction est attendue.

Le calcaire, de formule $CaCO_3$, contribue à diminuer progressivement les espaces entre les fibres textiles, lorsqu'il est présent en grande quantité. Il réduit ainsi la souplesse du tissu. Les fibres deviennent rigides et la surface perd de sa douceur initiale. Pour l'éviter, il faut faire en sorte que le calcaire ne précipite pas et donc éviter la présence d'ions carbonate CO^{2-}_3 et d'ions calcium Ca^{2+} libres en grande quantité. D'ailleurs, dans un assouplissant, des espèces chimiques anioniques telles que l'ion éthanoate CH_3COO^- peuvent « capter » des ions calcium.

L'ajout d'assouplissant permet d'obtenir une eau de rinçage dont le *pH* vaut environ 8.

Q.8. Indiquer l'espèce chimique prédominante parmi celles des couples $HCO^-_{3(aq)}$ / $CO^{2-}_{3(aq)}$ et $CO_{2(g)}$,$H_2O_{(\ell)}$/ $HCO^-_{3(aq)}$ dans l'eau de rinçage. Indiquer également celle qui prédomine au sein du couple $CH_3COOH_{(aq)}$/ $CH_3COO^-_{(aq)}$. Justifier.

Q.9. En déduire comment l'assouplissant joue son rôle.

EXERCICE 3 : STOCKAGE DANGEREUX DU PEROXYDE D'HYDROGÈNE (4 POINTS)

Les solutions aqueuses de peroxyde d'hydrogène H_2O_2 (ou eau oxygénée) sont très utilisées dans différents domaines industriels comme agent de blanchiment ou comme désinfectant.

Le stockage de ces solutions aqueuses doit faire l'objet d'une grande vigilance pour éviter les accidents dus à la surpression engendrée par la production de dioxygène gazeux.

En effet, le peroxyde d'hydrogène en solution aqueuse se décompose selon une transformation modélisée par une réaction chimique dont l'équation est :

$$2\ H_2O_{2(aq)} \rightarrow 2\ H_2O(\ell) + O_{2(g)} \qquad \text{(équation 1)}$$

Cette transformation étant très lente, les solutions aqueuses de peroxyde d'hydrogène sont relativement stables et peuvent être stockées dans des récipients inertes et rigoureusement propres. Cependant, la décomposition du peroxyde d'hydrogène se trouve accélérée et les solutions deviennent instables sous l'action de certains facteurs :

- des traces de métaux ou d'ions métalliques (comme les ions Cu^{2+}, Fe^{3+}, …) ;
- le *pH* : les solutions aqueuses de peroxyde d'hydrogène sont moins stables en milieu basique qu'en milieu acide (la stabilité maximale se situe à un *pH* compris entre 3,5 et 4,5) ;
- une augmentation de la température ;
- les radiations : les rayons UV activent la décomposition.

A. Conditions optimales de stockage

Q.1. Le stockage des solutions de peroxyde d'hydrogène s'effectue dans des conteneurs en acier inoxydable. Justifier qu'il est impératif que ces conteneurs soient opaques à la lumière et entreposés dans des endroits réfrigérés.

Q.2. Une solution aqueuse de peroxyde d'hydrogène pour laquelle la concentration en ions oxonium est mesurée à $5{,}0\times10^{-5}$ mol·L^{-1} se situe-t-elle dans le domaine de stabilité maximale ? Justifier par un calcul.

B. Étude de la vitesse de décomposition du peroxyde d'hydrogène

Un laboratoire spécialisé dans les risques chimiques réalise une étude sur la vitesse de décomposition de solutions aqueuses diluées de peroxyde d'hydrogène en présence d'ions fer (III) Fe^{3+}.

Pour suivre l'évolution temporelle de la concentration en peroxyde d'hydrogène H_2O_2, la quantité de matière de H_2O_2 restante à différentes dates est déterminée à partir de titrages colorimétriques successifs par les ions permanganate $MnO_4^-(aq)$ présents dans une solution de permanganate de potassium ($K^+(aq)$+$MnO_4^-(aq)$). La réaction d'oxydoréduction support de titrage a pour équation :

$$2\ MnO_4^-(aq) + 6\ H^+(aq) + 5\ H_2O_2(aq) \rightarrow 2\ Mn^{2+}(aq) + 5\ O_2(g) + 8\ H_2O(l) \qquad \text{(équation 2)}$$

L'étude est réalisée à partir d'une solution S de peroxyde d'hydrogène de concentration en soluté apporté C_S.

Dans un premier temps, la concentration avant décomposition C_S est déterminée grâce à un titrage par les ions permanganate selon le protocole expérimental suivant.

Protocole de titrage de H_2O_2 par MnO_4^- :

- Verser un volume de 10 mL de solution S dans un bécher de 100 mL.
- Ajouter un volume de 10 mL de solution d'acide sulfurique à 2,5 mol·L^{-1}.
- Titrer par une solution de permanganate de potassium de concentration $C = 5{,}0 \times 10^{-2}$ mol·L^{-1} en ions permanganate. L'équivalence est marquée par un brusque changement de couleur après avoir ajouté un volume $V_E = 8{,}0$ mL de solution titrante.

Q.3. Expliquer l'intérêt de l'ajout d'acide sulfurique à la solution S.

Q.4. Légender le schéma du montage de titrage donné sur la figure 1 en **annexe page 13**.

Q.5. En exploitant l'équation 2, déterminer la concentration C_S de la solution S.

Le peroxyde d'hydrogène présent dans la solution S se décompose selon la réaction d'équation 1 après ajout des ions Fe^{3+}. Le suivi de l'évolution temporelle de la concentration en H_2O_2 est réalisé par titrages successifs aux dates 5, 10, 15 et 20 minutes.

Les résultats expérimentaux obtenus à la température de 20 °C sont rassemblés sur la figure 2 donnée en annexe.

Q.6. Indiquer le rôle des ions Fe^{3+}dans la décomposition du peroxyde d'hydrogène.

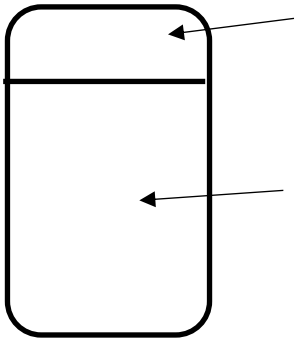
Q.7. Compléter la figure 2 en **annexe page 13** en traçant ce que serait l'évolution temporelle de la concentration en quantité de matière de H_2O_2 en absence d'ions Fe^{3+}.

C. Étude d'un accident industriel

En 2015, un accident a eu lieu dans une usine agroalimentaire qui utilise une solution de peroxyde d'hydrogène pour désinfecter la ligne de production. Selon l'inspection des installations classées, l'explosion serait due à une surpression dans le réservoir de stockage de la solution de peroxyde d'hydrogène. Plusieurs pistes sont envisagées pour expliquer la cause de l'accident, parmi lesquelles une réaction violente générée par une impureté présente dans le réservoir de stockage liée au changement de capteur de pression du réservoir effectué 15 jours auparavant. La solution aqueuse de peroxyde d'hydrogène stockée dans ce réservoir a une concentration $[H_2O_2]_{réservoir} = 1{,}2\ mol{\cdot}L^{-1}$.

Données :

- schéma du réservoir de stockage avant l'accident :



Partie supérieure du réservoir occupée par l'air
$V_{gaz} = 150$ L

Partie inférieure du réservoir occupée par la solution aqueuse de peroxyde d'hydrogène
$V = 1{,}0\ m^3$

- constante des gaz parfaits : $R = 8{,}314\ Pa{\cdot}m^3{\cdot}mol^{-1}{\cdot}K^{-1}$;
- pression dans le réservoir : $P = 1{,}0 \times 10^5$ Pa ;
- température dans le réservoir : $T = 293$ K ;
- $1{,}0\ m^3 = 1{,}0 \times 10^3$ L.

Q.8. Déterminer la quantité de matière d'air, notée n_{air}, qui occupe la partie supérieure du réservoir.

On considère que le dioxygène formé par la décomposition accidentelle du peroxyde d'hydrogène ne se dissout pas dans la solution aqueuse.

Q.9. Calculer la pression finale atteinte dans le réservoir, notée P_{tot}, si le peroxyde d'hydrogène de la solution aqueuse se décompose totalement en considérant que la température est maintenue constante. Commenter.

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

EXERCICE 3 – Partie B

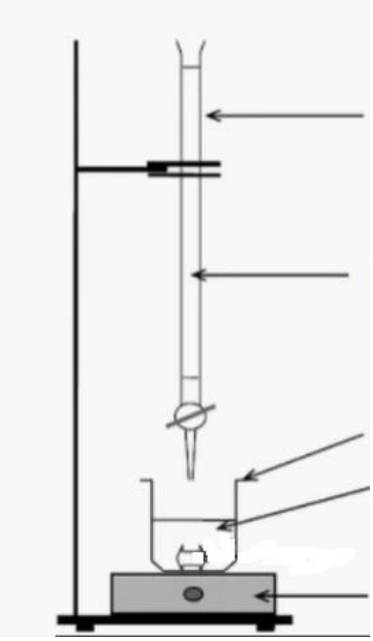


Figure 1. schéma du montage de titrage

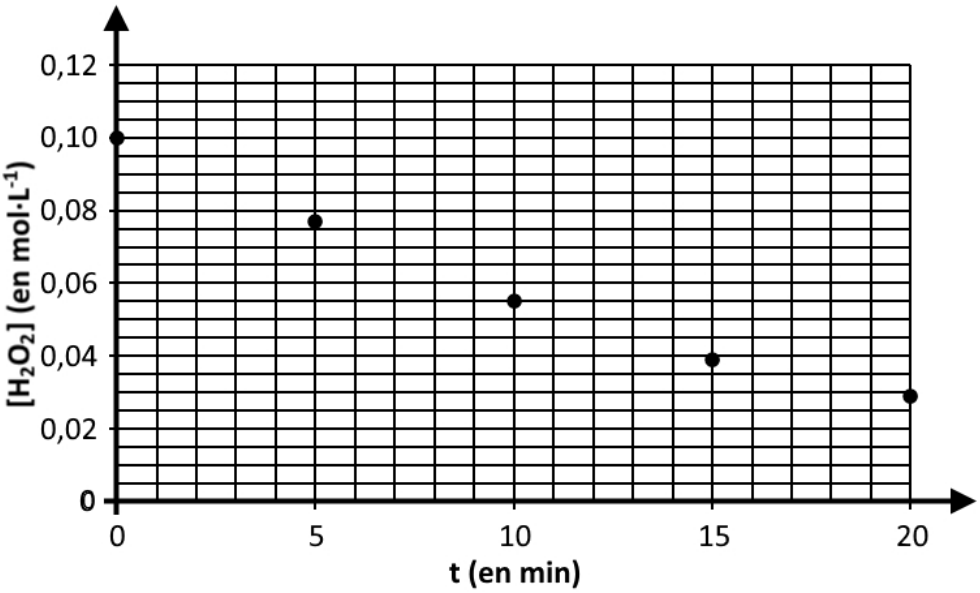


Figure 2. évolution temporelle de la concentration en quantité de matière de H_2O_2 à 20 °C

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