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

SUJET D'EXAMEN (SESSION OFFICIELLE)

Physique-chimie - Session 2024

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 2024

PHYSIQUE-CHIMIE

Jour 2

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 ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 13 pages numérotées de 1/13 à 13/13.

EXERCICE 1 – UNE SÉRIE D'EXPÉRIENCES HISTORIQUES : LA RÉACTION D'ESTÉRIFICATION ÉTUDIÉE PAR MARCELLIN BERTHELOT (9 POINTS)

Marcellin Berthelot (1827-1907), auteur de nombreuses découvertes en chimie, est considéré comme l'un des plus grands scientifiques français du dix-neuvième siècle. Avec l'aide de son élève, Léon Péan de Saint-Gilles, il a étudié de manière approfondie la réaction entre un alcool et un acide carboxylique.

L'objectif de cet exercice est de montrer comment la technique du dosage par titrage a permis à Marcellin Berthelot de mettre en évidence les notions de cinétique chimique et d'équilibre chimique.

1. Dosage par titrage.

Berthelot et Péan de Saint-Gilles ont réalisé un mélange contenant les mêmes quantités de matière en acide éthanoïque et en éthanol laissé à la température ambiante de 20 °C. Il s'est formé de l'éthanoate d'éthyle et de l'eau. La transformation d'estérification qui s'est déroulée était très lente. Elle peut être modélisée par l'équation de réaction suivante :

$$CH_3COOH(\ell) + C_2H_5OH(\ell) \rightleftarrows CH_3COOC_2H_5(\ell) + H_2O(\ell)$$

Q1. Représenter la formule semi-développée de l'acide éthanoïque. Entourer et nommer le groupe caractéristique de la molécule. Nommer la famille fonctionnelle à laquelle appartient l'éthanoate d'éthyle.

La transformation s'étant poursuivie pendant quinze jours, un échantillon du mélange réactionnel a alors été prélevé afin de connaître l'évolution des quantités de matière des espèces chimiques en jeu. Pour Marcellin Berthelot : *« C'est évidemment l'acide qu'il faut déterminer. On transvase (l'échantillon) dans un vase à fond plat. On ajoute quelques gouttes de teinture de tournesol et l'on verse de l'eau de baryte avec une burette graduée jusqu'à ce que la teinte rose du tournesol ait viré au bleu franc. »*

Données :

- Le vase à fond plat est un erlenmeyer ;
- La teinture de tournesol est un indicateur coloré acido-basique ;
- L'eau de baryte est une solution aqueuse d'hydroxyde de baryum : elle contient les ions baryum $Ba^{2+}(aq)$, spectateurs, et les ions hydroxyde $HO^-(aq)$;
- Couples acide / base mis en jeu : $CH_3CO_2H(\ell)$ / $CH_3CO_2^-(aq)$; $H_2O(\ell)$ / $HO^-(aq)$.

Q2. Faire un schéma du dosage par titrage réalisé en y indiquant les positions de la solution titrante et de la solution titrée.

Q3. Écrire l'équation de réaction qui modélise la transformation lors du dosage par titrage entre l'acide éthanoïque présent dans l'échantillon et les ions hydroxyde provenant de la burette. Citer au moins une caractéristique que doit posséder toute réaction utilisée pour un dosage par titrage.

Q4. Indiquer la teinte de la forme acide de l'indicateur coloré.

On considère une solution titrante de concentration en quantité de matière c_B en ions hydroxyde $HO^-(aq)$ de valeur égale à 2,0 mol·L^{-1} et provoquant le changement de couleur pour un volume V_{BE} versé à l'équivalence de valeur égale à 5,0 mL.

Q5. En utilisant la relation entre les quantités de matière à l'équivalence, calculer la valeur de la quantité de matière n_A en acide éthanoïque dans l'échantillon titré.

Données :
- Le volume de l'échantillon $V_{éch}$ vaut un centième du volume du mélange réactionnel initial V_i ;
- Le dosage par titrage réalisé a montré que 10 % de l'acide initial avait réagi.

Q6. Montrer que ce mélange contenait initialement une quantité de matière d'acide n_i de valeur égale à 1,1 mol.

2. Cinétique chimique.

Les dosages par titrage successifs d'échantillons issus du mélange réactionnel laissé à température ambiante ont permis d'obtenir les résultats du tableau de la figure 1.

Temps écoulé en jours	Proportion de l'acide initial ayant réagi
15	10 %
22	14 %
70	37 %
72	38 %
128	47 %
154	48 %
277	54 %
368	55 %

Figure 1. Expérience effectuée à la température T_1 = 20 °C.

L'expérience a été reproduite en portant la température T_2 du mélange réactionnel à la valeur constante égale à 100 °C. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau de la figure 2.

Temps écoulé en jours	Proportion de l'acide initial ayant réagi
4	26 %
9	37 %
15	47 %
32	56 %
60	60 %
120	65 %
150	67 %
180	67 %

Figure 2. Expérience effectuée à la température T_2 = 100 °C.

Q7. Expliquer pourquoi l'ensemble des mesures de Marcellin Berthelot illustrent le fait que la température est un facteur cinétique. Au moins une comparaison quantitative s'appuyant sur les données des tableaux des figures 1 et 2 est attendue.

Q8. Définir le temps de demi-réaction $t_{1/2}$ d'une transformation chimique. Pour l'expérience à la température T_2, donner l'encadrement de la valeur de $t_{1/2}$ le plus précis possible selon les données de la figure 2, sachant que l'état final est atteint après 150 jours.

Q9. À l'aide du tableau de la figure 1 et de la quantité de matière initiale d'acide n_i, montrer qu'après les quinze premiers jours de l'expérience à température ambiante la valeur de la quantité de matière d'acide restant est égale à une mole.

Données :

- Vitesse volumique moyenne de disparition d'un réactif : $v = \frac{c_{initiale} - c_{finale}}{\Delta t}$;
- Volume initial du mélange réactionnel : $V_{mélange}$ = 130 mL.

Q10. Calculer la valeur moyenne v de la vitesse volumique de disparition de l'acide, à température ambiante, sur la durée Δt = 15 j. Le résultat sera exprimé en $mol \cdot L^{-1} \cdot j^{-1}$.

Q11. Expliquer sans calcul comment évolue ensuite la vitesse de disparition de l'acide dans l'expérience se déroulant à 20 °C. Justifier ce comportement à l'aide d'un facteur cinétique autre que la température.

Q12. Proposer une modification du protocole qui permettrait d'accélérer la réaction d'estérification sans changer la température du mélange réactionnel.

3. Équilibre chimique.

Les expériences décrites dans les deux tableaux précédents ont été prolongées bien au-delà des durées qui y sont indiquées : elles ont montré que le mélange réactionnel n'évoluait plus lorsque 67 % de la quantité de matière d'acide initial avait réagi, quelle que soit sa température.

Dans le mémoire *Recherche sur les affinités* (1862-1863), Marcellin Berthelot a ainsi pu écrire :

« Il résulte de ces expériences que toutes les fois que l'action d'un acide sur un alcool a été suffisamment prolongée, ou réalisée à une température suffisamment élevée, la composition des systèmes devient sensiblement invariable. On voit en même temps que l'état d'équilibre qui se produit ainsi ne répond jamais à une saturation complète de l'acide par l'alcool ».

Q13. Expliquer, en utilisant la notion d'avancement, la différence entre une réaction totale et une réaction menant à un équilibre chimique. Indiquer l'expression qu'utilise Marcellin Berthelot dans le texte ci-dessus pour parler d'une réaction totale.

Q14. Préciser en quoi le tableau de la figure 2 de mesures à la température T_2 permettait déjà de soupçonner l'existence d'un équilibre chimique pour la réaction d'estérification. Citer une partie du texte ci-dessus évoquant l'intérêt de mener l'expérience à la température T_2 de valeur égale à 100 °C.

Données :

- On rappelle l'équation de la réaction modélisant la transformation étudiée :

$$CH_3COOH(\ell) + C_2H_5OH(\ell) \rightleftarrows CH_3COOC_2H_5(\ell) + H_2O(\ell)$$

- On considère un mélange réactionnel initial de volume $V_{mélange}$ = 130 mL à une température T de valeur égale à 25°C, contenant des quantités de matière identiques en acide et en alcool : $n_{acide} = n_{alcool}$ = 1,1 mol ;
- Concentration standard en quantité de matière à 25°C : $c°$ = 1,0 mol·L^{-1} ;
- L'eau n'étant pas le solvant, sa concentration en quantité de matière intervient dans l'expression du quotient de réaction.

Q15. Justifier que les concentrations en quantité de matière des quatre espèces chimiques en présence dans l'état d'équilibre ont pour valeur :

$$[CH_3COOH]_{éq} = [C_2H_5OH]_{éq} = 2{,}8 \text{ mol·L}^{-1} ;$$

$$[CH_3COOC_2H_5]_{éq} = [H_2O]_{éq} = 5{,}7 \text{ mol·L}^{-1}.$$

Q16. À l'aide des données, établir l'expression du quotient de réaction Q de la réaction d'estérification. Indiquer sa valeur Q_i dans l'état initial, puis calculer sa valeur $Q_{éq} = K$ dans l'état d'équilibre chimique.

Q17. Dans son mémoire, Marcellin Berthelot a présenté plusieurs méthodes permettant de faire réagir l'acide éthanoïque et l'éthanol avec un rendement supérieur à 67%. Proposer une méthode possible.

EXERCICE 2 – UNE BROSSE À DENTS (6 POINTS)

Une hygiène buccale optimale passe notamment par le choix d'une brosse à dents adaptée, qu'elle soit manuelle ou électrique.

Il existe différents types de brosses à dents manuelles classées selon le diamètre croissant des brins qui les composent : la brosse ultra-souple, souple, médium et dure. Ces deux dernières catégories sont déconseillées par l'Union Française pour la Santé Bucco-Dentaire (UFSBD) car ces brosses abîment l'émail des dents et fragilisent les gencives.

L'objectif de cet exercice est de déterminer le diamètre d'un brin de brosse à dents manuelle à l'aide du phénomène de diffraction, puis de s'intéresser au niveau d'intensité sonore émis par une brosse à dents électrique en fonctionnement.

Détermination du diamètre d'un brin de brosse à dents manuelle.

L'expérience de diffraction, schématisée sur la figure 1, est réalisée avec huit fils calibrés, de diamètres a connus, positionnés chacun leur tour sur le trajet d'un faisceau laser de longueur d'onde λ.

Sur un écran blanc placé à une distance D du fil utilisé, on observe une figure de diffraction. L est la largeur de la tache centrale. θ est l'angle caractéristique de diffraction, de valeur très inférieure à un radian, donné par l'expression $\theta = \frac{\lambda}{a}$.

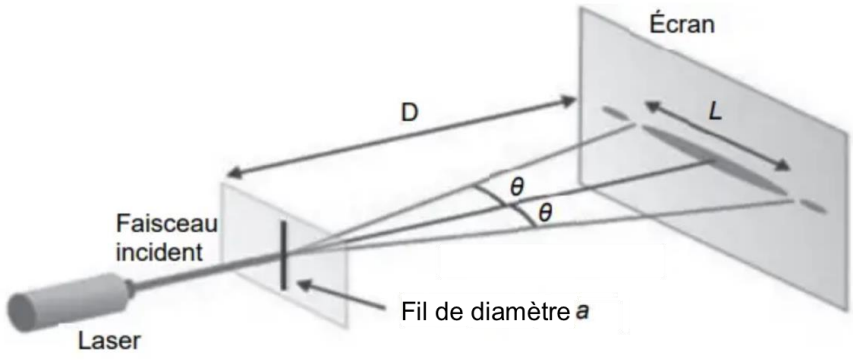

Figure 1. Schéma du montage de diffraction d'un faisceau laser par un fil.

Q1. À l'aide de la figure 1, et en se plaçant dans l'approximation des petits angles telle que tan $\theta \approx \theta$, montrer que la largeur L de la tache centrale de diffraction a pour expression : $L = k \cdot \frac{1}{a}$. Vérifier que l'expression de la constante k *est* $k = 2 \cdot \lambda \cdot D$.

Un logiciel de traitement d'image permet d'obtenir la distribution de l'intensité lumineuse sur l'écran. Les résultats obtenus pour deux fils calibrés utilisés sont présentés ci-après, sur la figure 2, accompagnés des photographies des figures de diffraction obtenues.

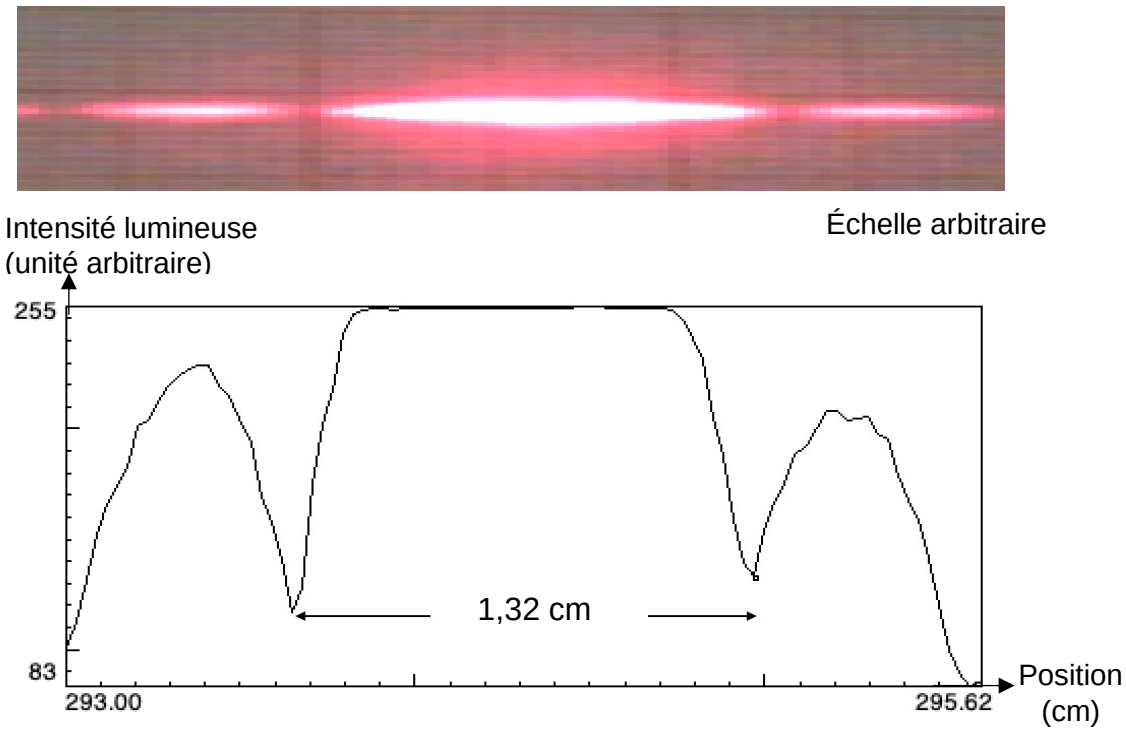

Figure 2. Photographies des figures de diffraction obtenues et distribution de l'intensité lumineuse pour deux fils calibrés de diamètres différents.

Q2. Attribuer à chacune des deux expériences A et B de la figure 2, les diamètres des fils calibrés utilisés : a_1 de valeur égale à 150 µm et a_2 de valeur égale à 300 µm, en justifiant le choix.

On réalise maintenant l'expérience avec un brin de brosse à dents ultrasouple, en utilisant le même laser.

Données :

- La mesure de la largeur de la tache centrale de diffraction pour un brin de brosse à dents ultrasouple a donné L = 1,89 cm. L'incertitude-type sur la mesure réalisée est : $u(L)$ = 1,0 mm ;
- La valeur de la constante k avec son incertitude-type associée : $k = 1{,}96\times10^{-6}$ m^2 et $u(k) = 0{,}03\times10^{-6}$ m^2.

Q3. Montrer que la valeur expérimentale du diamètre a_{brosse} du brin de brosse à dents ultrasouple étudiée est de valeur égale à $1{,}04\times10^{-4}$ m.

Q4. Calculer la valeur de l'incertitude-type associée $u(a_{brosse})$ du diamètre du brin de brosse à dents ultrasouple, définie par : u

$$u(a_{brosse}) = a_{brosse} \times \sqrt{\left(\frac{u(k)}{k}\right)^2 + \left(\frac{u(L)}{L}\right)^2}$$

Pour les personnes ayant les dents et gencives très sensibles ou ayant subi une chirurgie dentaire, la brosse à dents ultrasouple dont les brins ont un diamètre de 100 µm est préconisée.

Donnée :

- Le résultat d'une mesure x est considéré en accord avec une valeur de référence si la valeur du quotient $\frac{|x - x_{ref}|}{u(x)}$ est inférieure ou égale à 2, avec $u(x)$ l'incertitude-type associée.

Q5. À l'aide de la donnée précédente, vérifier que le résultat du diamètre du brin de brosse à dents ultrasouple obtenu expérimentalement a_{brosse} est en accord avec celui de référence, qui vaut 100 µm.

Niveau d'intensité sonore d'une brosse à dents électrique.

À une distance de 10 cm d'un modèle de brosse à dents électrique en fonctionnement, le niveau d'intensité sonore L mesuré par le sonomètre a pour valeur 65 dB. Il est qualifié comme fatigant sur l'échelle du bruit.

Données :

- Relation entre le niveau d'intensité sonore L (en dB) et l'intensité sonore I (en W·m^{-2}) : $L = 10\times\log\left(\frac{I}{I_0}\right)$

La valeur de l'intensité sonore de référence I_0 correspondant au seuil d'audibilité est égale à $1{,}0\times10^{-12}$ W·m^{-2} ;

- L'intensité sonore I (en W·m^{-2}) est liée à la puissance sonore P (en W) rayonnée par la source, qui se répartit au cours de la propagation sur une surface d'aire S (en m²) par la relation : $I = \frac{P}{S}$

avec $S = 4\pi\cdot d^2$ où d (en m) est la distance qui sépare le récepteur et la source.

Q6. À l'aide des données, calculer la valeur de l'intensité sonore I_1 correspondant au niveau d'intensité sonore L_1 = 65 dB, relevé à une distance égale à 10 cm de la brosse à dents électrique étudiée.

Données :

- La puissance de la source sonore constituée par la brosse à dents électrique est égale à $P = 4{,}0\times10^{-7}$ W et elle reste la même quelle que soit la distance entre la source et le récepteur ;
- La figure 3 est une vue en plan de la salle de douche dans laquelle s'effectue le brossage de dents :

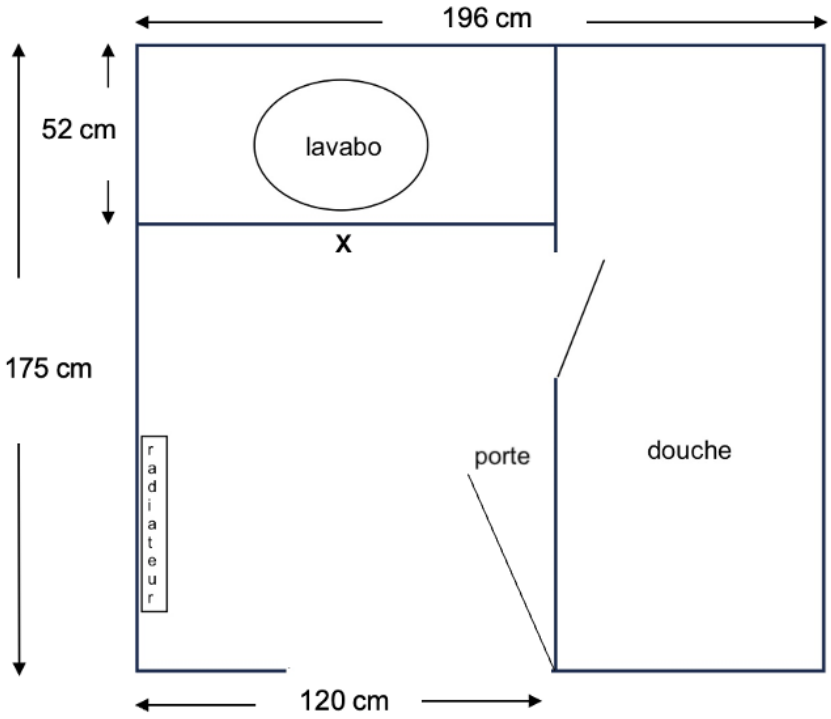

Figure 3. Plan de la salle de douche.

Sur la figure 3, l'utilisateur de la brosse à dents électrique se tient aux abords du lavabo au niveau de la croix (**X**) repérée sur le plan.

Pour la question suivante, 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.

Q7. Calculer la valeur de la distance à laquelle une personne doit se placer par rapport à l'utilisateur de la brosse à dents électrique, afin qu'elle ne soit pas incommodée par le bruit, ce qui correspond à une atténuation géométrique de 25 dB.

En s'aidant de la vue en plan de la salle de douche fournie dans les données, préciser si une personne peut être présente dans la salle de douche sans être incommodée.

EXERCICE 3 – ÉMILIE DU CHÂTELET, MADAME POMPON NEWTON (5 POINTS)

Madame Pompon Newton est le surnom donné à Émilie du Châtelet par Voltaire, son ami proche, en référence à sa coquetterie et à sa passion pour le travail de Newton.
En effet, en utilisant un nouveau formalisme mathématique, elle traduit et commente l'œuvre de Newton *Philosophiæ naturalis principia mathematica* et ainsi permet la diffusion de la pensée de Newton dans toute l'Europe alors qu'elle est encore très peu connue à l'époque.
Voltaire écrit en préface : *« cette traduction que les plus savants Hommes de France devaient faire et que les autres doivent étudier, une femme l'a entreprise et achevée à l'étonnement et à la gloire de son pays. [...] On a vu deux prodiges : l'un, que Newton ait fait cet ouvrage ; l'autre, que Dame [Émilie du Châtelet] l'ait traduit et l'ait éclairci. »*

L'objectif de cet exercice est d'étudier les trois lois de Newton en s'appuyant sur des extraits de cette traduction.

PREMIERE LOI.

Tout corps perſévère dans l'état de repos ou de mouvement uniforme en ligne droite dans lequel il ſe trouve, à moins que quelque force n'agiſſe ſur lui, & ne le contraigne à changer d'état.

« Tout corps persévère dans l'état de repos ou de mouvement uniforme en ligne droite dans lequel il se trouve, à moins que quelque force n'agisse sur lui, et ne le contraigne à changer d'état »

Figure 1. Extrait de Émilie du Châtelet*, Principes mathématiques de la philosophie naturelle tome second*, France, Édition Desaint, Saillant et Lambert, 1759.

Q1. Énoncer dans un langage plus actuel que celui de la figure 1 la première loi de Newton, aussi appelée principe d'inertie, ou donner les relations mathématiques qui la traduisent.

Un expérimentateur lâche dans l'air une plume et une boule de bowling d'une certaine hauteur. Dans l'air, la plume arrive en bas après la boule de bowling. La plume utilisée est photographiée figure 2.

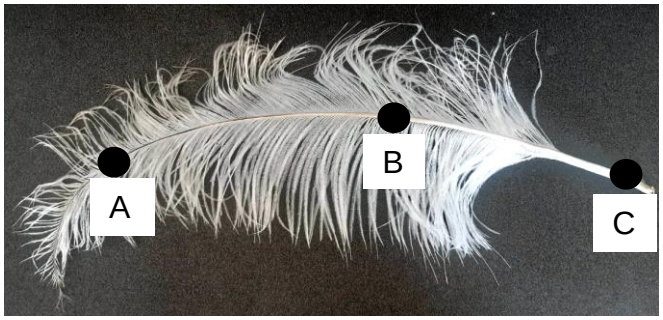

Figure 2. Photographie de la plume.

Q2. Choisir, parmi les points A, B ou C de la figure 2, celui qui représente le centre de masse G de la plume.

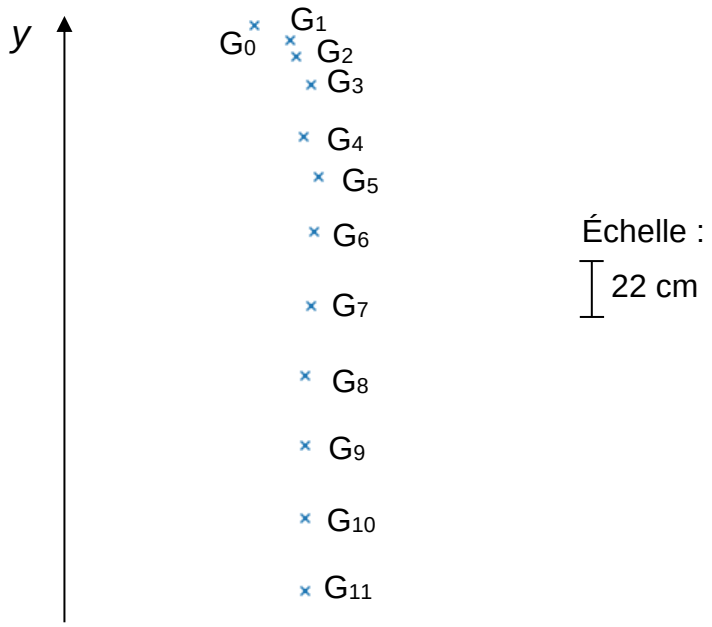

Figure 3. Chronophotographie du centre de masse G de la plume pour une chute dans l'air.

Dans la figure 3, l'intervalle de temps τ entre chaque point a une valeur égale à 0,085 s.

Q3. À l'aide la figure 3, calculer v_7 et v_9, les valeurs des vitesses aux points G_7 et G_9.

Dans la suite de l'exercice nous approximerons la portion du mouvement entre les points G_6 et G_{11} comme étant rectiligne uniforme. De plus, nous considérerons comme négligeable l'effet de la poussée d'Archimède, exercée par l'air sur la plume, devant les autres forces.

Données :
- L'intensité de la pesanteur terrestre g a une valeur égale à 9,81 $N \cdot kg^{-1}$;
- La masse m de la plume a une valeur égale à 0,985 g.

Q4. Dresser la liste des forces qui s'appliquent à la plume lors de sa chute dans l'air. Puis donner, dans la portion du mouvement entre les points G_6 et G_{11}, en justifiant, la relation mathématique qui les lie. À l'aide des données, déduire par un calcul la valeur f de la force de frottement.

Voici ce qu'écrit Émilie du Châtelet à propos de la deuxième loi du mouvement :

2°. Que le changement qui arrive dans le mouvement eſt toujours proportionnel à la force motrice, & ſe fait dans la direction de cette force.

« Que le changement qui arrive dans le mouvement est toujours proportionnel à la force motrice, et se fait dans la direction de cette force. »

Figure 4. Extrait issu de *Principes mathématiques de la philosophie naturelle* d'Émilie du Châtelet.

Q5. Énoncer dans un langage plus actuel la deuxième loi de Newton ou donner la relation mathématique qui la traduit.

La même expérience que précédemment a été réalisée mais cette fois la plume et la boule de bowling sont lâchées dans une chambre à vide, c'est-à-dire dans un espace hermétique où l'expérimentateur a retiré la quasi-totalité de l'air. L'influence des frottements peut alors être négligée.
D'une hauteur *H*, dans le vide, un dispositif permet de lâcher sans vitesse initiale et simultanément la boule de bowling et la plume. Ces deux objets frappent le sol exactement en même temps.
Dans la suite de l'exercice, on prendra l'origine des axes (*Ox*) et (*Oy*) au sol. L'axe (*Oy*) est dirigé vers le haut.

Q6. À l'aide de la deuxième loi de Newton, dans les conditions de la deuxième expérience, établir l'expression de l'altitude *y(t)* d'un système en chute libre et montrer qu'elle est indépendante de sa masse *m.*

L'évolution de l'accélération, de la vitesse et de la position suivant l'axe vertical ont été représentées sur la figure 5.

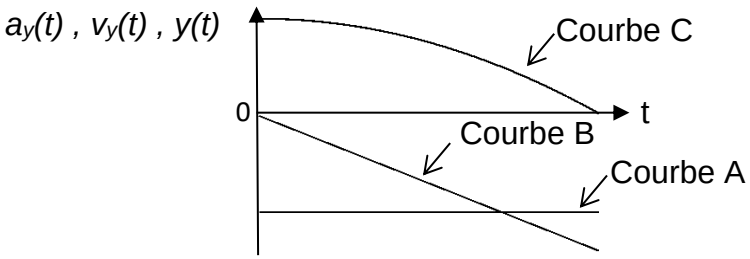

Figure 5. Courbes A, B, et C.

Q7. Attribuer chaque courbe (A, B et C) de la figure 5 à une coordonnée parmi les trois suivantes : $a_y(t)$, $v_y(t)$, $y(t)$.

Q8. La valeur de la vitesse v_d de l'objet est égale à 14 $m \cdot s^{-1}$ quand l'objet arrive à une distance d = 20 cm au-dessus du sol. En déduire la valeur de la hauteur *H* depuis laquelle les objets sont lâchés.

Extrait n°1. *Lorsque les corps sont jetés en haut, la gravité leur imprime des forces et leur ôte des vitesses proportionnelles au temps.*

Extrait n°2. *Si un cheval tire une pierre par le moyen d'une corde, il est également tiré par la pierre : car la corde qui les joint et qui est tendue des deux côtés, fait un effort égal pour tirer la pierre vers le cheval et le cheval vers la pierre ; et cet effort s'oppose autant au mouvement de l'un, qu'il excite le mouvement de l'autre.*

Extrait n°3. *Les projectiles par eux-mêmes persévèrent dans leurs mouvements, mais la résistance de l'air les retarde et la force de gravité les porte vers la Terre.*

Figure 6. Extraits issus de *Principes mathématiques de la philosophie naturelle* d'Émilie du Châtelet.

Q9. La figure 6 présente trois extraits qui servent à illustrer, chacun, une loi de Newton. Choisir parmi ces trois extraits celui qui illustre la troisième loi de Newton en précisant la ou les raisons de votre choix.