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.

EXERCICE 1 : LE STREET - UNE PRATIQUE OLYMPIQUE (11 POINTS)

Depuis les Jeux Olympiques de Tokyo en 2020, le skateboard est un sport olympique. Une épreuve de « street » se déroulera à l'occasion des Jeux Olympiques de Paris de 2024. Le street consiste en la réalisation de figures et d'enchaînements pendant une durée limitée sur un parcours reproduisant des éléments de rue, appelés modules, tels que des plans inclinés, des rails, des bancs…



Image : © Paris 2024

On se propose dans cet exercice d'étudier quelques phases de mouvement simple réalisées par un skateboardeur lors de la pratique du street. Dans tout cet exercice, on appellera skateboardeur le système {skateboard + skateboardeur}. Ce système de masse *m* est indéformable et modélisé par un point matériel assimilé à son centre de masse G. Les études des différentes phases du mouvement sont effectuées dans le référentiel terrestre considéré galiléen. L'ensemble des phases étudiées est représenté ci-dessous sans souci d'échelle.

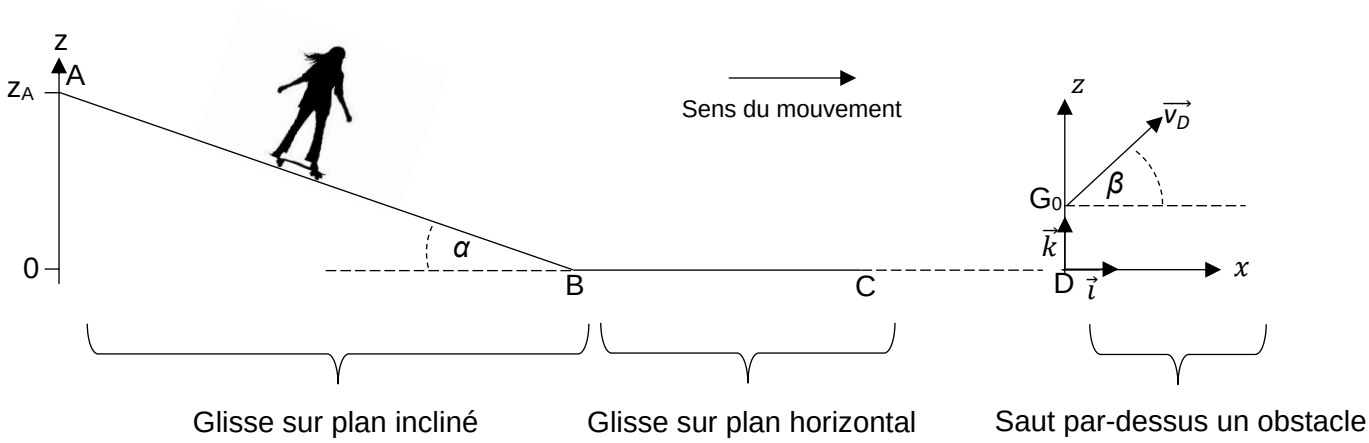


Figure 1. Les différentes phases du mouvement

Données :

- masse du système {skateboardeur + skateboard} : m = 75,0 kg ;
- intensité du champ de pesanteur : g = 9,81 m·s^{-2}.

A. Glisse sur plan incliné

Le skateboardeur est à l'arrêt au point A en haut d'un module de plan incliné de longueur *AB* faisant un angle α avec le plan l'horizontal. Le skateboardeur s'élance sans vitesse initiale le long de la pente pour rejoindre le point B. Durant cette phase, on considère que les frottements de l'air sont négligeables et que les frottements des roues sur la piste sont modélisés par une force notée $\vec{F}$.

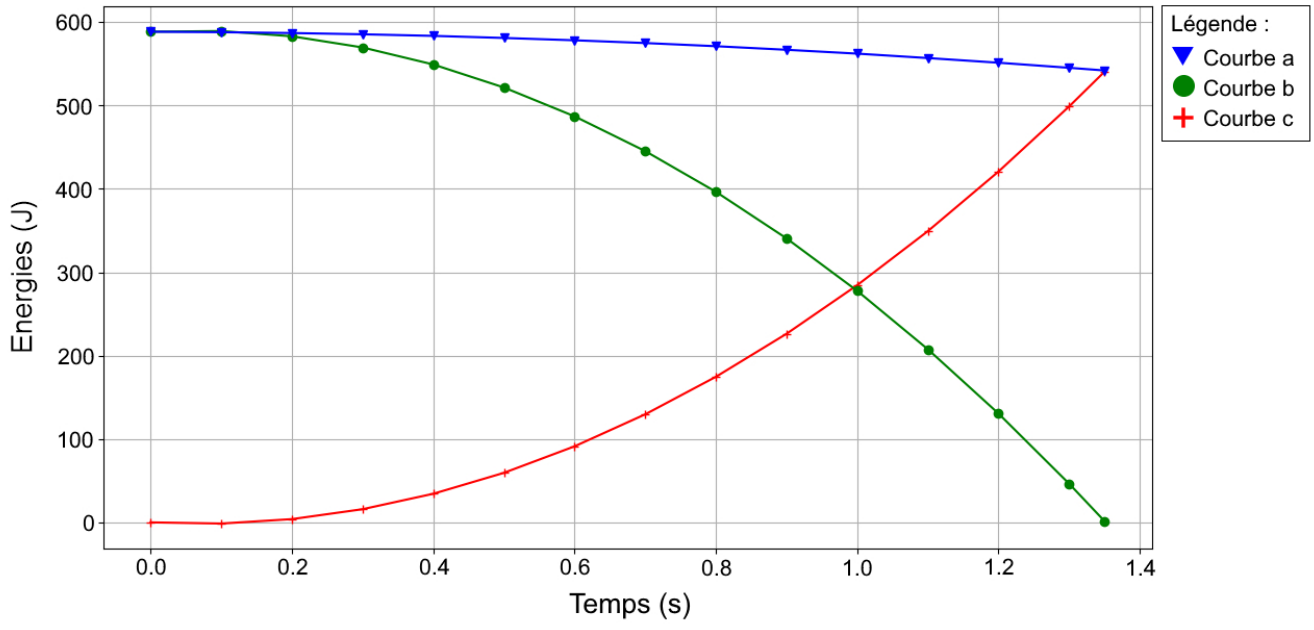
Le script en langage de programmation Python ci-dessous permet de tracer les courbes représentatives des énergies du système en fonction du temps, le long du trajet AB.

Script en langage de programmation Python :

```
1  import matplotlib.pyplot as plt
2
3  #Saisie des valeurs
4  t=[0.00,0.10,0.20,0.30,0.40,0.50,0.60,0.70,0.80,0.90,1.00,1.10,1.20,1.30,1.35]
5  E1=[0.0,3.9,15.8,34.3,59.4,91.2,129.6,174.6,226.2,284.5,349.3,420.8,498.9,540.5]
6  E2=[588.6,583.1,569.7,549.3,521.7,487.1,445.4,396.6,340.7,277.8,207.7,130.6,46.4,1.6]
7
8  #Calcul de E3 à partir de E1 et E2
9  E3=[]
10 for i in range(len(t)):
11     Ebis=E1[i]+E2[i]
12     E3.append(Ebis)
13
14 plt.axes()
15 plt.plot(t, E1, 'r+-')
16 plt.plot(t, E2, 'go-')
17 plt.plot(t, E3, 'bv-')
18 plt.xlabel('Temps (s)')
19 plt.ylabel('Énergies (J)')
20 plt.title('Évolution temporelle des énergies du système')
21 plt.grid()
23 plt.show()
```

Les courbes ci-dessous sont obtenues à partir de l'exécution de ce script.

Évolution temporelle des énergies du système :



Q.1. À l'aide du script en langage de programmation Python, nommer en justifiant les énergies correspondant à E_1, E_2 et E_3. Attribuer ces énergies aux courbes du graphique ci-dessus (courbes a, b et c).

Q.2. Interpréter l'évolution temporelle de l'énergie E_3 représentée sur le graphique ci-dessus.

Q.3. Déterminer la valeur de la vitesse atteinte par le skateboardeur au point B.

B. Phase de mouvement horizontal

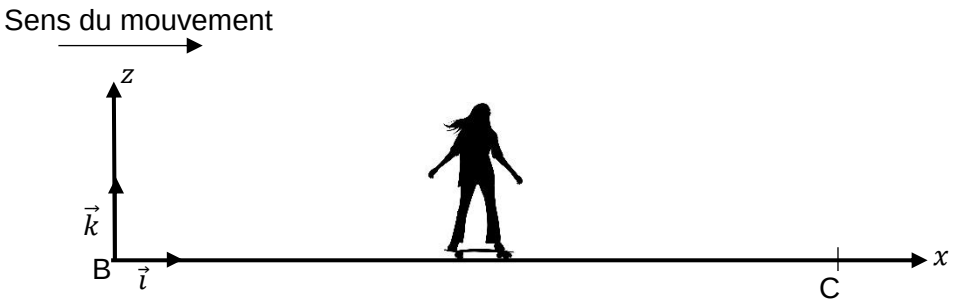
Durant la phase de mouvement entre les points B et C, Le skateboardeur glisse jusqu'à s'arrêter au point C. Les forces de frottement liées à l'air sont toujours négligées. Le skateboardeur est notamment soumis à une force de frottement $\vec{f}$ qui s'oppose au mouvement.

On définit μ_c le coefficient de frottement cinétique tel que :

$$\mu_c = \frac{f}{R}$$

avec :

- f : norme de la force de frottement ;
- R : norme de la réaction normale au plan.



Données :

- coefficient de frottement cinétique : $\mu_c = 0{,}040$;
- vitesse du skateboardeur au point B : $v_B = 3{,}8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$;
- théorème de l'énergie cinétique : la variation d'énergie cinétique d'un système entre deux positions A et B est égale à la somme des travaux des forces appliquées à ce système entre les deux positions A et B.

Q.4. Faire l'inventaire des forces extérieures appliquées au skateboardeur et les représenter sans souci d'échelle sur la copie.

Q.5. À l'aide du théorème de l'énergie cinétique appliqué entre les points B et C, établir la relation entre v_B, m, f et la distance d'arrêt BC.

Q.6. Montrer que la distance d'arrêt BC s'exprime par la relation :

$$BC = \frac{{v_B}^2}{2\cdot\mu_c\cdot g}$$

Q.7. Calculer la valeur de la distance d'arrêt.

Les roues de skateboard sont réalisées en polyuréthane et sont caractérisées par leur dureté. Plus les roues sont « dures » plus les frottements sont faibles.
Un skateboardeur choisit de remplacer les roues habituelles de son skateboard par des roues moins dures de même géométrie.

Q.8. Indiquer en justifiant comment évolue la distance d'arrêt du skateboard suite à ce changement de roues.

C. Étude d'un saut et photographie

Le skateboardeur arrive à la verticale du point D et déclenche un saut par-dessus un obstacle de longueur L et de faible hauteur. Le centre de masse G_0 du skateboardeur a alors pour coordonnées z_0 = 80 cm et x_0 = 0 et sa vitesse est notée $\overrightarrow{v_D}$. Le début de l'obstacle est à une distance ℓ du point D. Durant le saut, l'action exercée par l'air sur le système est considérée comme négligeable.

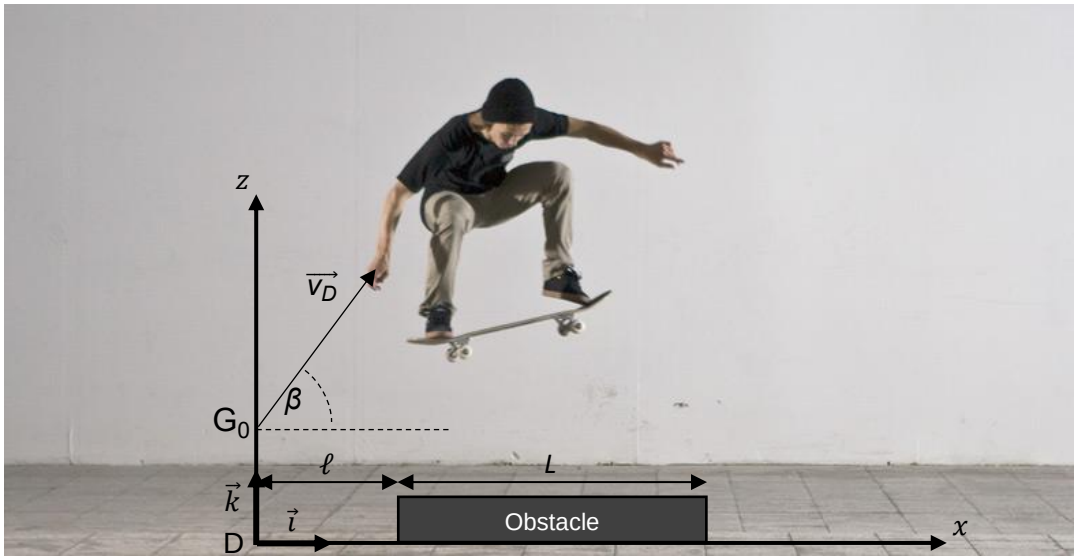


Figure 2. Représentation de la situation sans souci d'échelle

Dans cette partie, on souhaite vérifier si le skateboardeur franchit l'obstacle.

Données : ℓ = 0,70 m et L = 1,0 m.

Q.9. En appliquant la deuxième loi de Newton, établir les équations horaires décrivant la trajectoire du centre de masse G du skateboardeur lors du saut.

Q.10. Montrer que l'équation de la trajectoire du centre de masse G s'écrit sous la forme :

$$z(x) = -\frac{g}{2 \cdot v_D^2 \cdot \cos^2(\beta)} \cdot x^2 + (\tan\beta) \cdot x + z_0$$

L'équation de la trajectoire est modélisée par l'équation suivante, x et z étant exprimées en m :

$$z(x) = -\,0{,}894\, x^2 + 1{,}22\, x + 0{,}80$$

Q.11. Calculer la valeur de la coordonnée x du centre de masse lorsque le skateboardeur retrouve l'altitude initiale $z = z_0$.

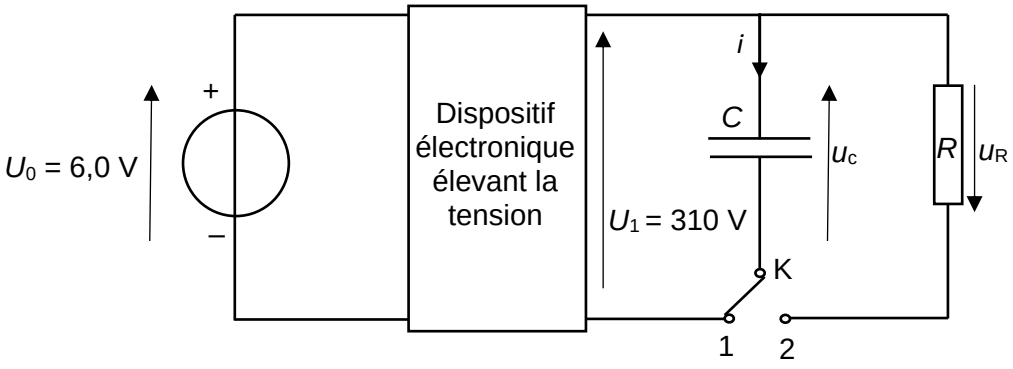
Q.12. En déduire si le skateboardeur franchira ou pas l'obstacle.

Exercice 1



Un photographe amateur souhaite photographier le skateboardeur pendant le saut décrit précédemment. Il est équipé d'un appareil photographique muni d'un flash (voir ci-contre).

Les éléments essentiels d'un flash sont le condensateur et le tube néon émettant un flash lumineux puissant lorsque le condensateur se décharge.
On peut représenter par un schéma électrique simplifié le fonctionnement du flash. L'interrupteur K permet la charge du condensateur de capacité *C* quand celui-ci est en position 1. Le déclenchement par le photographe bascule l'interrupteur sur la position 2 permettant ainsi la décharge du condensateur dans le tube néon considéré alors comme un conducteur ohmique de résistance *R*.



Q.13. Montrer que l'équation différentielle modélisant l'évolution de la tension u_c aux bornes du condensateur lors de sa décharge peut s'écrire :

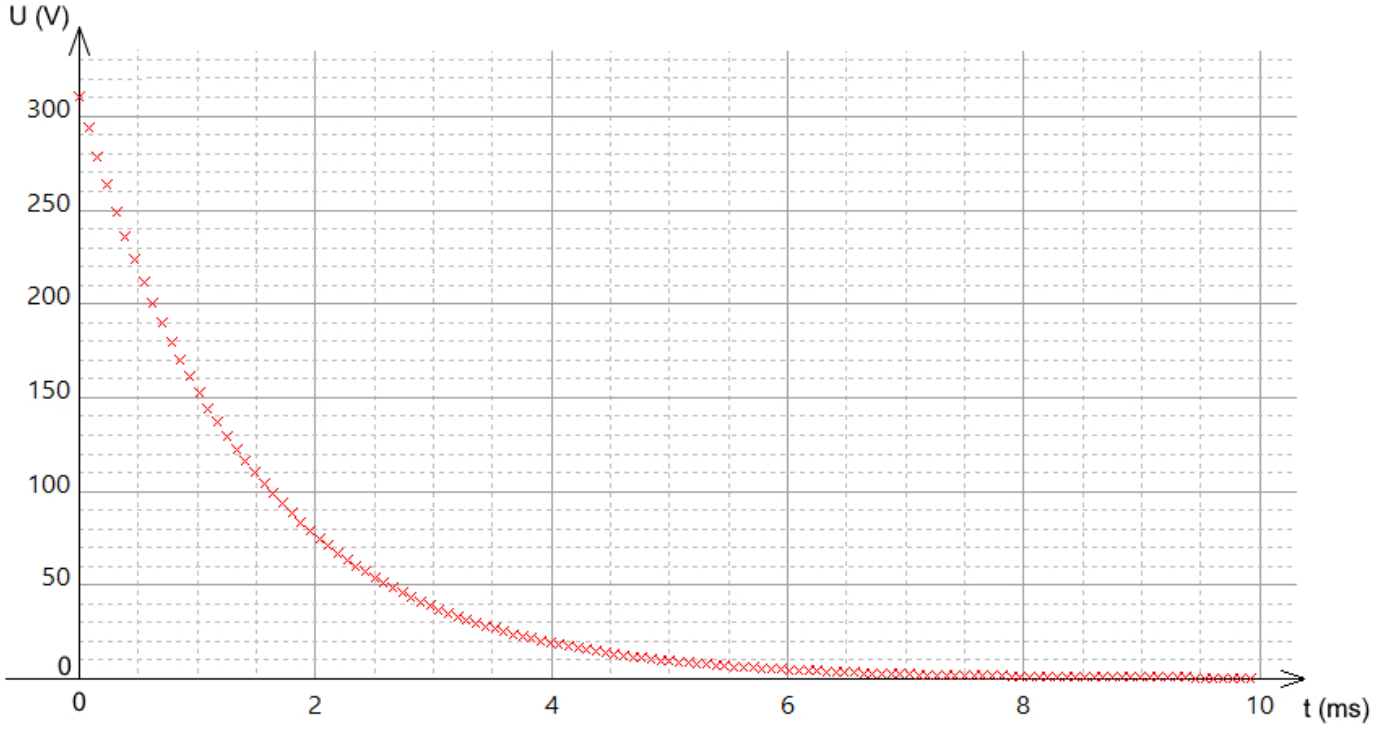
$$\frac{\mathrm{d}u_c}{\mathrm{dt}} + \frac{1}{\tau}u_c = 0$$

où τ est une constante.

Q.14. Vérifier que l'équation différentielle admet une solution de la forme $u(t) = \mathrm{A}\cdot\mathrm{e}^{-t/\mathrm{B}}$. Exprimer les constantes A et B en fonction de paramètres du circuit électrique.

Q.15. Montrer que la constante τ est homogène à un temps.

On fournit la courbe de décharge du condensateur.



Q.16. Déterminer la valeur de la constante de temps τ en expliquant la méthode graphique employée.

La durée qui sépare le déclenchement de la photographie et la prise réelle de la photographie est d'environ 5τ, soit 7,5 ms. La photographie est déclenchée lorsque le skateboardeur passe en D.
Le saut peut être décomposé en trois étapes : avant l'obstacle, au-dessus de l'obstacle, après l'obstacle. Pour cette étude on prendra : v_D = 3,5 m·s^{-1} et β = 50,7°.

Q.17. Déterminer parmi les trois étapes, celle qui est photographiée.

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie même si elle n'a pas abouti.

EXERCICE 2 : TECHNIQUES DE DOSAGE DE L'URÉE (5 POINTS)

En 1773, le pharmacien Hilaire-Marin Rouelle isole de l'urine une substance déchet du métabolisme humain particulièrement riche en azote : l'urée, une molécule de formule brute CH_4N_2O.
En 1828, le chimiste Friedrich Wöhler synthétise fortuitement pour la première fois de l'urée.
En 1928, le biochimiste Richard Fosse va réaliser le premier dosage précis de l'urée en solution par méthode gravimétrique. Un dosage de l'urée est une indication précieuse de l'état de santé d'une personne. Aujourd'hui, les professionnels des laboratoires d'analyses médicales utilisent une méthode colorimétrique.

D'après *Étonnante chimie – Une brève histoire de l'urée : de sa découverte à son dosage*, Bernard Bodo, CNRS EDITIONS et *Synthèse de l'urée*, André Brack, www.universalis.fr

Cet exercice aborde la synthèse de l'urée et deux techniques de dosage de l'urée en solution.

Les différentes parties de cet exercice sont indépendantes.

Données :

- table spectroscopique IR simplifiée :

Liaison	Nombre d'onde (cm^{-1})	Intensité
O-H alcool libre	3500 - 3700	forte, fine
O-H alcool lié	3200 - 3400	forte, large
O-H acide carboxylique	2500 - 3200	forte à moyenne, large
N-H amine	3100 - 3500	moyenne
N-H amide	3100 - 3500	forte
N-H amine ou amide	1560 - 1640	forte ou moyenne
C_{tri} - H	3000 - 3100	moyenne
$C_{tét}$ - H	2800 - 3000	forte
C = O ester	1700 - 1740	forte
C = O amide	1650 - 1740	forte
C = O aldéhyde et cétone	1650 - 1730	forte
C = O acide	1680 - 1710	forte

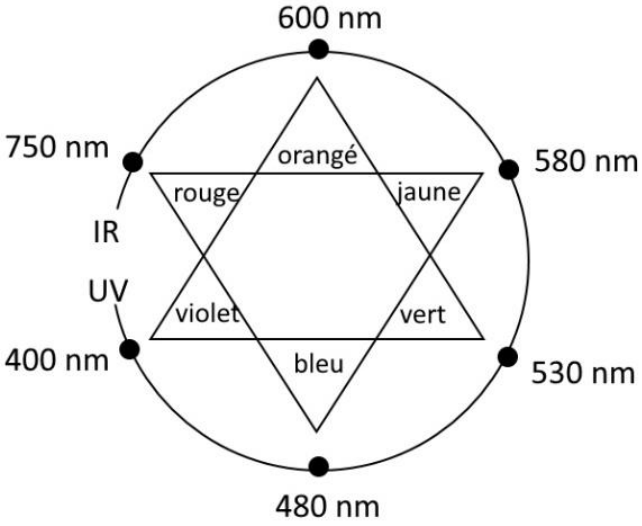
Remarque :
C_{tri} signifie que l'atome de carbone est trigonal, c'est-à-dire relié à trois voisins.
$C_{tét}$ signifie que l'atome de carbone est tétragonal, c'est-à-dire relié à quatre voisins.

- masse molaire moléculaire : M(urée) = 60,06 ± 0,01 $g \cdot mol^{-1}$ (avec ce qui suit ± correspondant à l'incertitude-type) ;

- masses molaires atomiques M($g \cdot mol^{-1}$) :

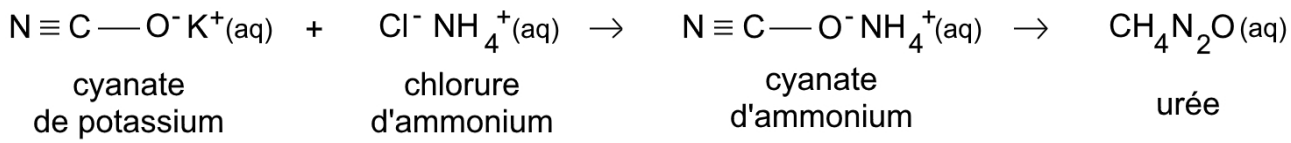
H	C	N	O
1,00	12,0	14,0	16,0

- cercle chromatique :



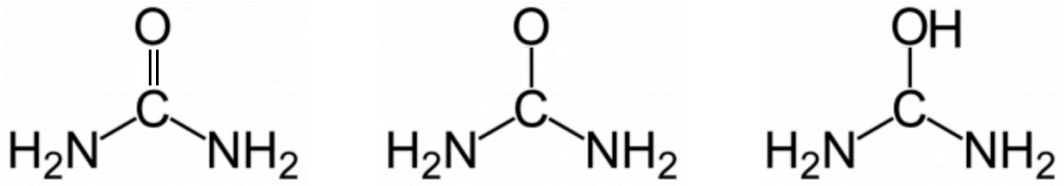
A. La synthèse de l'urée par Wöhler

Ayant maitrisé la synthèse de l'acide cyanique, Friedrich Wöhler cherchait à préparer du cyanate d'ammonium par réaction du cyanate de potassium ($K^+(aq) + CNO^-(aq)$) sur le chlorure d'ammonium ($NH_4^+(aq) + C\ell^-(aq)$). Mais le cyanate d'ammonium ($NH_4^+(aq) + CNO^-(aq)$) obtenu s'isomérise spontanément en cristaux d'urée CH_4N_2O. L'ensemble du processus est schématisé ci-dessous.



Q.1. Montrer que le cyanate d'ammonium et l'urée sont bien des isomères.

Q.2. Choisir parmi les trois propositions suivantes la formule semi-développée de l'urée. Justifier.



Q.3. Montrer que le spectre infrarouge obtenu pour les cristaux d'urée est cohérent avec la formule semi-développée proposée.

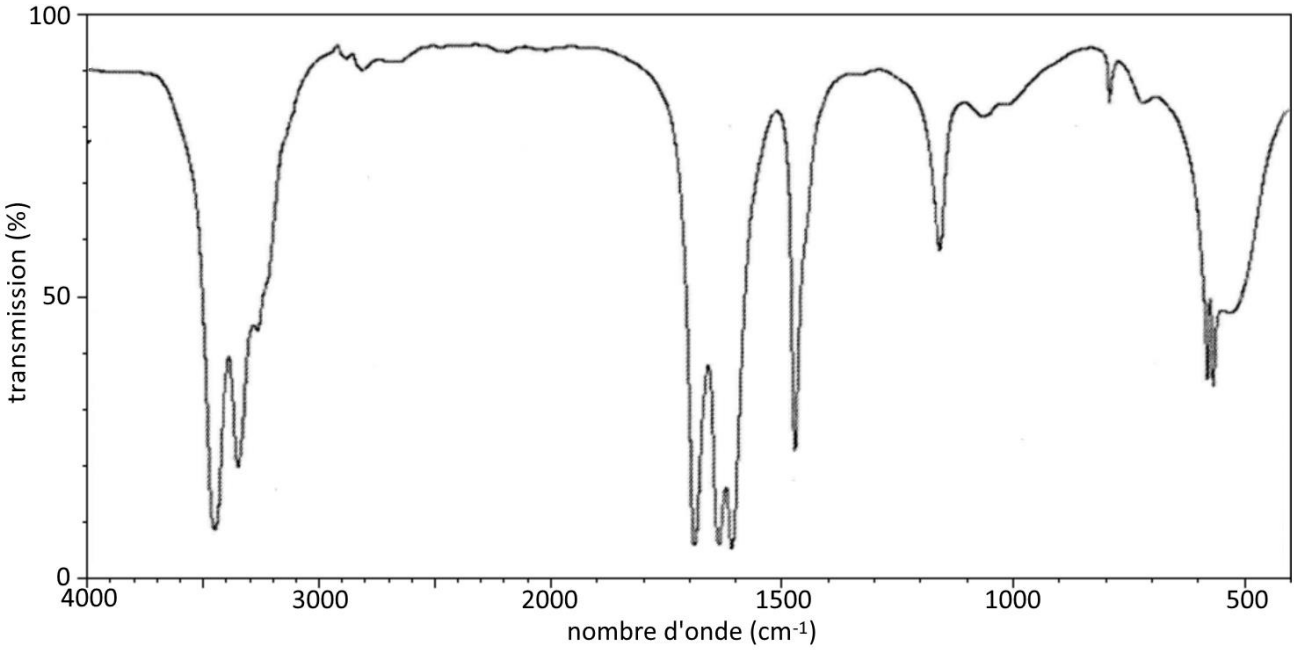


Figure 1. Spectre infrarouge de l'urée (KBr-médiachimie)

B. Dosages de l'urée

Soit une solution aqueuse S d'urée de concentration en quantité de matière C = 6,7 mmol·L^{-1}.

Q.4. Déterminer la masse de cristaux d'urée à peser pour préparer 50,0 mL d'une solution S d'urée de concentration en quantité de matière C = 6,7 mmol·L^{-1}.

Dosage gravimétrique

La première technique de dosage de l'urée a été proposée en 1928 par Richard Fosse qui observa la formation de cristaux incolores en mélangeant une solution d'urée et une solution de xanthydrol. Richard Fosse publia alors le protocole précis de cette transformation qui consiste à ajouter à une solution d'urée une solution de xanthydrol puis à filtrer les cristaux incolores de dixanthylurée formés sur un papier filtre. La dixanthylurée est très insoluble dans l'eau à la différence de l'urée. Les cristaux, après séchage, se détachent et sont pesés.

Exercice 2

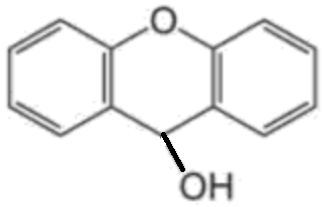
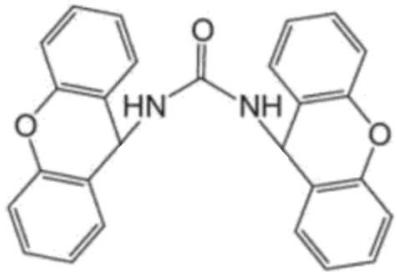
Xanthydrol	Dixanthylurée
	
$C_{13}H_{10}O_2$	$C_{27}H_{20}N_2O_3$

Figure 2. Formules topologiques et brutes des molécules de xanthydrol et dixanthylurée

L'équation de réaction support du dosage gravimétrique de l'urée est :

$$2\ C_{13}H_{10}O_2(aq) + CH_4N_2O(aq) \rightarrow C_{27}H_{20}N_2O_3(aq) + 2\ A$$

Q.5. Identifier l'espèce chimique moléculaire A. Justifier.

Q.6. Comparer les masses molaires moléculaires du dixanthylurée et de l'urée et en déduire que la masse de dixanthylurée formée est sept fois supérieure à celle de l'urée consommée.

Afin de vérifier si la solution S a été correctement préparée, un volume $V = 1{,}0\ \text{mL} \pm 0{,}1\ \text{mL}$ de solution S est dosé selon le protocole proposé par Richard Fosse. Le xanthydrol ayant été introduit en excès, une masse de cristaux de dixanthylurée $m = 2{,}7 \pm 0{,}2\ \text{mg}$ est mesurée (avec ce qui suit $\pm$ correspondant à l'incertitude-type).

Q.7. Montrer que l'expression permettant de calculer la concentration en quantité de matière en urée C de la solution S est :

$$C = \frac{m}{7 \cdot \text{M(urée)} \cdot V}$$

L'incertitude-type $u(C)$ sur la valeur de la concentration en quantité de matière en urée C obtenue dans la solution S satisfait à la relation :

$$u(C) = C \cdot \sqrt{\left(\frac{u(m)}{m}\right)^2 + \left(\frac{u(\text{M(urée)})}{\text{M(urée)}}\right)^2 + \left(\frac{u(V)}{V}\right)^2}$$

Q.8. Écrire avec un nombre adapté de chiffres significatifs, le résultat de la mesure de C.

Q.9. Vérifier en exploitant le quotient $\frac{|C_{mes} - C_{réf}|}{u(C)}$ que le protocole de Richard Fosse permet de valider que la solution S a été correctement préparée.

Dosage colorimétrique

Un médecin prescrit une prise de sang à un patient âgé de 20 ans pour diagnostiquer une éventuelle insuffisance rénale. L'urémie est le terme médical utilisé pour qualifier la concentration d'urée contenue dans le sang.
Des techniciens d'un laboratoire d'analyse médicale reçoivent un échantillon sanguin du patient. Ils disposent d'un kit de dosage par étalonnage de l'urée qui s'appuie sur la formation d'une espèce chimique bleue. L'absorbance, notée A, de la solution bleue est directement proportionnelle à la concentration en urée dans l'échantillon, notée C. Elle est mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre calibré à une longueur d'onde de 600 nm.

Les résultats du dosage sont :

$A_{\text{Référence}}$	$C_{\text{Référence}}$
1,58	6,7 mmol·L^{-1}

$A_{\text{Échantillon}}$
1,25

Dans le sérum ou le plasma	Intervalle de concentration en urée pour un patient en bonne santé (mmol/L)
< 1 an	[1,4-6,8]
Enfant	[1,8-6,4]
18-60 ans	[2,1-7,1]
60-90 ans	[2,9-8,2]
> 90 ans	[3,6-11,1]

Q.10. Justifier le choix de la valeur de la longueur d'onde.

La notice du kit de dosage indique la formule de calcul suivante :

$$C_{\text{Échantillon}} = \frac{A_{\text{Echantillon}}}{A_{\text{Référence}}} \times C_{\text{Référence}}$$

Q.11. Démontrer l'égalité indiquée sur la notice de dosage.

Q.12. Déterminer la conclusion posée par le médecin quant à une éventuelle urémie élevée chez le patient.

EXERCICE 3 : NETTOYAGE D'UNE PAROI DE DOUCHE (4 POINTS)



Pour se débarrasser de la couche de calcaire d'épaisseur moyenne *e* de 5 µm qui s'est déposée sur la paroi vitrée d'une douche, il est possible d'utiliser du vinaigre ménager. On dispose d'un volume *V* de 30 mL de vinaigre ménager à 12 °. Le vinaigre ménager à 12 ° est une solution aqueuse d'acide éthanoïque qui contient 12 g d'acide éthanoïque pour 100 g de solution. La dissociation dans l'eau de l'acide éthanoïque contenu dans le vinaigre produit des ions oxonium.

Le calcaire qui se dépose sur la vitre provient de l'eau du robinet. Le calcaire est un solide ionique de formule $CaCO_3$ (s). Il réagit totalement avec les ions oxonium, libérés par l'acide éthanoïque, selon la transformation chimique modélisée par l'équation de réaction suivante :

$$2\ H_3O^+\ (aq) + CaCO_3\ (s) \rightarrow Ca^{2+}\ (aq) + CO_2\ (g) + 3\ H_2O\ (\ell)$$

Le but de cet exercice est de déterminer si le volume de vinaigre sera suffisant pour éliminer tout le calcaire.

Données :

- masse molaire moléculaire $M(CH_3COOH) = 60{,}0\ g{\cdot}mol^{-1}$;
- masse molaire moléculaire $M(CaCO_3) = 100{,}1\ g{\cdot}mol^{-1}$;
- masse volumique à 20 °C $\rho(CaCO_3) = 2{,}65{\times}10^3\ kg{\cdot}m^{-3}$;
- masse volumique à 20 °C ρ(vinaigre) $= 1{,}010\ g{\cdot}mL^{-1}$;
- pK_A à 25 °C du couple acide éthanoïque/ion éthanoate : $pK_A = (CH_3COOH/CH_3COO^-) = 4{,}8$;
- dimension de la paroi de douche : 110 cm × 200 cm.

Q.1. Montrer que la concentration en quantité de matière d'acide éthanoïque du vinaigre est d'environ $C = 2{,}0\ mol{\cdot}L^{-1}$.

Q.2. Calculer la quantité de matière de calcaire présente sur la paroi de douche.

Q.3. Écrire l'équation de la réaction modélisant la transformation de l'acide éthanoïque dans l'eau.

Q.4. Déterminer si le volume *V* de vinaigre disponible sera suffisant pour éliminer tout le calcaire sur la paroi de douche.

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.