

# BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

**SESSION 2025**

## **PHYSIQUE-CHIMIE**

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 collègue » est autorisé.*

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

Ce sujet comporte 11 pages numérotées de 1/11 à 11/11.

**L'annexe page 11 est à rendre avec la copie**

## EXERCICE 1 - L'ATROPINE (9 POINTS)

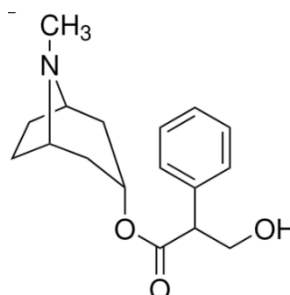
L'atropine est un antispasmodique employé par l'anesthésiste lorsque le patient présente une bradycardie, une diminution du réflexe vagal ou un rythme cardiaque bas. Elle a pour effet d'augmenter le rythme cardiaque du patient. Elle fait partie de la famille des alcaloïdes, molécules qui comportent un atome d'azote aux propriétés basiques.

L'atropine a été extraite d'une plante : la belladone. De nos jours, de nombreuses molécules isolées de la belladone ont été identifiées et on sait que l'atropine provient d'une réaction au sein de la plante entre l'acide tropique et le tropanol.

L'objectif de cet exercice est d'étudier l'utilisation d'une des formes de l'atropine en milieu hospitalier ainsi que son obtention par extraction et par synthèse.

### Données :

➤ représentation topologique de l'atropine :



- formule brute de l'atropine :  $C_{17}H_{23}O_3N$  ;
- couple acide-base de l'atropine :  $C_{17}H_{23}O_3NH^+ / C_{17}H_{23}O_3N$  ;
- valeur du  $pK_a$  du couple : 9,8.

### 1. Étude des ampoules pharmacologiques d'atropine.

**Q1.** Construire le diagramme de prédominance du couple acide/base de l'atropine.

En milieu hospitalier, on utilise des ampoules contenant du sulfate d'atropine, une solution limpide et incolore injectable par voie intraveineuse ou intra musculaire à une concentration en masse d'atropine  $C_{mA} = 25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ . Elle est conditionnée en ampoule de volume  $V_A = 20 \text{ mL}$  possédant un  $pH$  stabilisé aux alentours de 4,0.

**Q2.** Préciser sous quelle forme acide ou basique est présente l'atropine dans l'ampoule.

### Données :

- masse molaire moléculaire de l'atropine  $M_A = 289,4 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  ;
- concentration standard  $c^\circ = 1,0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

**Q3.** Calculer la concentration en quantité de matière des ions oxonium  $[H_3O^+]$  de la solution contenue dans l'ampoule.

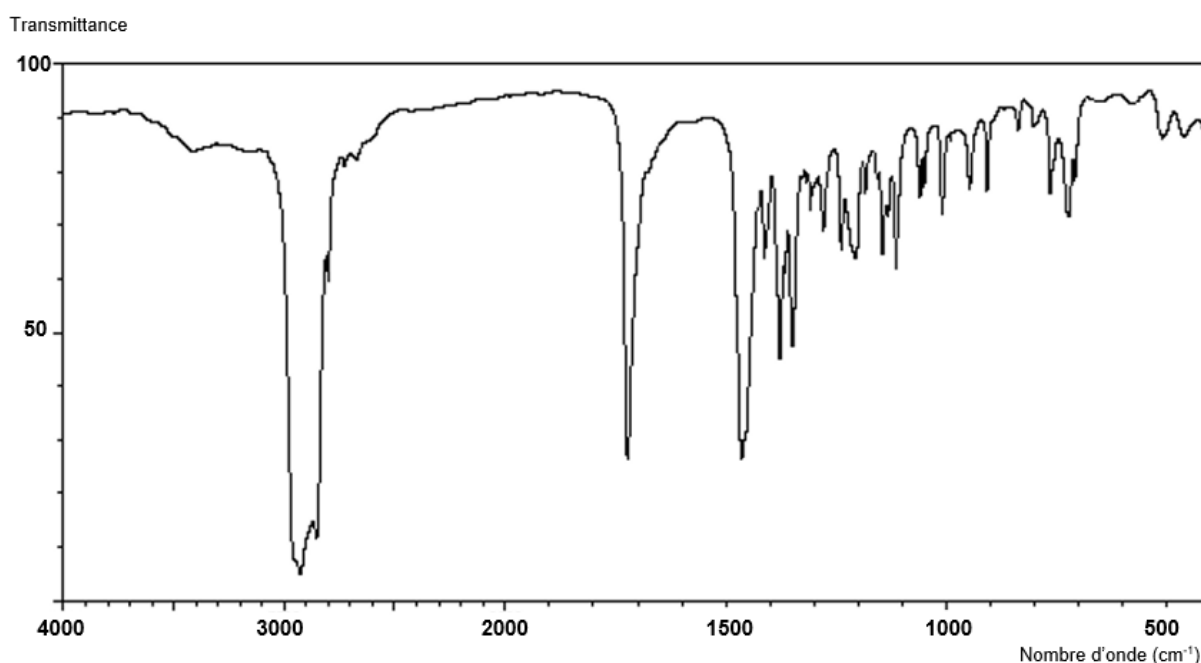
**Q4.** Calculer la concentration en quantité de matière  $C_A$  d'atropine présente dans l'ampoule. Vérifier que la quantité de matière  $n_A$  d'atropine dans l'ampoule est voisine de  $n_A = 1,7 \times 10^{-6} \text{ mol}$ .

On trouve également des ampoules de concentration en quantité de matière  $C_B = 1,7 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

**Q5.** Calculer le volume  $V_B$  de cette ampoule pour que la quantité de matière  $n_B$  en atropine soit égale à la quantité de matière  $n_A$  déterminée en question **Q4**.

## 2. Étude de l'extraction de l'atropine.

À partir de feuilles de belladone, on débute une succession d'extractions solide/liquide et liquide/liquide. L'extrait final présente différentes substances dont le tropanol, la tropinone et l'atropine. On isole chaque substance et on réalise une spectroscopie infrarouge de l'une d'elle. Le spectre infrarouge de cette substance est représenté sur la figure 1.



[https://www.chemicalbook.com/SpectrumEN\\_532-24-1\\_IR2.htm/](https://www.chemicalbook.com/SpectrumEN_532-24-1_IR2.htm/)  
Figure 1. Spectre infrarouge de la substance testée.

### Données :

➤ informations sur les molécules :

| Acide tropique<br>$\text{C}_9\text{H}_{10}\text{O}_3$ | Tropanol<br>$\text{C}_8\text{H}_{15}\text{ON}$ | Tropinone<br>$\text{C}_8\text{H}_{13}\text{ON}$ | Atropine<br>$\text{C}_{17}\text{H}_{23}\text{O}_3\text{N}$ |
|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
|                                                       |                                                |                                                 |                                                            |

➤ tables de données spectroscopiques dans l'infrarouge :

| Liaison                | Nombre d'onde (cm <sup>-1</sup> ) | Intensité       |
|------------------------|-----------------------------------|-----------------|
| O-H alcool libre       | 3500-3700                         | Forte, fine     |
| O-H alcool lié         | 3200-3400                         | Forte, large    |
| C-H alcane             | 2800-3000                         | Forte, multiple |
| C=O amide              | 1650-1740                         | Forte           |
| C=O aldéhyde et cétone | 1650-1730                         | Forte, fine     |
| C=O acide              | 1680-1710                         | Forte           |

**Q6.** Identifier, parmi les quatre molécules citées dans les données ci-dessus, celle qui est incompatible avec le spectre infrarouge de la figure 1.

**Q7.** L'identification des substances peut faire appel à la chromatographie sur couche mince (CCM) sur plaque de gel de silice. Décrire le protocole expérimental général associé à cette technique d'identification. Répondre en dix lignes au maximum.

### 3. Étude de la synthèse de l'atropine.

Dans la plante, la tropinone est réduite en tropanol à l'aide d'une enzyme TRI dite réductase.

**Donnée :**

➤ couple d'oxydoréduction tropanol-tropinone : C<sub>8</sub>H<sub>13</sub>ON/ C<sub>8</sub>H<sub>15</sub>ON.

**Q8.** Écrire la demi-équation électronique du couple tropanol-tropinone.

**Q9.** En notant TRI/TRI-H le couple d'oxydoréduction de l'enzyme, établir l'équation de la réaction modélisant la transformation entre l'enzyme et la tropinone.

Les quantités de tropanol, tropinone et d'atropine présentes lors de l'extraction sont trop faibles. L'industrie pharmaceutique se tourne alors vers la synthèse de la molécule afin de produire de plus gros volumes.

**Q10.** Sur le document réponse **À RENDRE AVEC LA COPIE**, identifier en les entourant et nommer les trois familles fonctionnelles présentes dans la molécule d'atropine.

La synthèse résulte de la réaction entre l'acide tropique et le tropanol pour donner l'atropine. Pour accélérer la transformation, l'ensemble est chauffé après l'ajout de quelques gouttes d'une solution aqueuse d'acide sulfurique (2H<sup>+</sup>(aq), SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>(aq)).

**Q11.** Compléter, sur le document réponse **À RENDRE AVEC LA COPIE**, l'équation de réaction modélisant la synthèse proposée.

**Q12.** Le montage de synthèse repose sur un montage à reflux. Citer deux intérêts de ce dispositif expérimental.

**Q13.** Indiquer le rôle de l'acide sulfurique (2H<sup>+</sup>(aq), SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>(aq)) dans le milieu réactionnel.

On notera  $n_A$ ,  $n_B$ ,  $n_C$  et  $n_D$  les quantités de matières à l'équilibre des espèces chimiques intervenant dans la transformation représentée dans le document réponse.

**Q14.** Donner l'expression littérale de la constante d'équilibre notée  $K$ , à l'aide des quantités de matière à l'équilibre  $n_A$ ,  $n_B$ ,  $n_C$  et  $n_D$ .

Pour améliorer le dispositif expérimental, on utilise une verrerie spécifique dite de Dean-Stark qui élimine progressivement l'eau du reste du milieu réactionnel.

**Q15.** Justifier à l'aide du quotient de réaction  $Q_r$  l'effet de l'utilisation de cette verrerie sur le déplacement d'équilibre.

## EXERCICE 2 - ÉCOULEMENT DU SANG DANS UNE ARTÈRE (5 POINTS)

Les artères carotidiennes constituent les principales voies de transport du sang vers le cerveau. Une sténose correspond à un rétrécissement ou une obstruction partielle des artères, ce qui peut entraîner des problèmes graves comme des accidents vasculaires cérébraux (AVC) au cours desquels le cerveau est privé du dioxygène nécessaire à son bon fonctionnement.

Le premier objectif de cet exercice est d'évaluer par échographie Doppler la vitesse d'un écoulement de sang au sein d'une artère partiellement obstruée. Dans un second temps, l'objectif est de modéliser l'écoulement et d'évaluer l'importance de l'obstruction.

### 1. Échographie Doppler.

Un émetteur-récepteur ultrasonore permet d'étudier les vaisseaux sanguins. Les ondes émises sont partiellement réfléchies par les tissus mous environnants, mais également par les globules rouges présents dans l'écoulement de sang.

Lorsque l'écoulement sanguin est visé, un décalage entre la fréquence émise  $f_E$  et celle reçue par l'appareil  $f_R$  est observé. La différence de fréquence  $\Delta f = f_R - f_E$  ou décalage Doppler permet de mesurer la vitesse du flux sanguin et d'obtenir ainsi des informations essentielles pour le diagnostic médical.

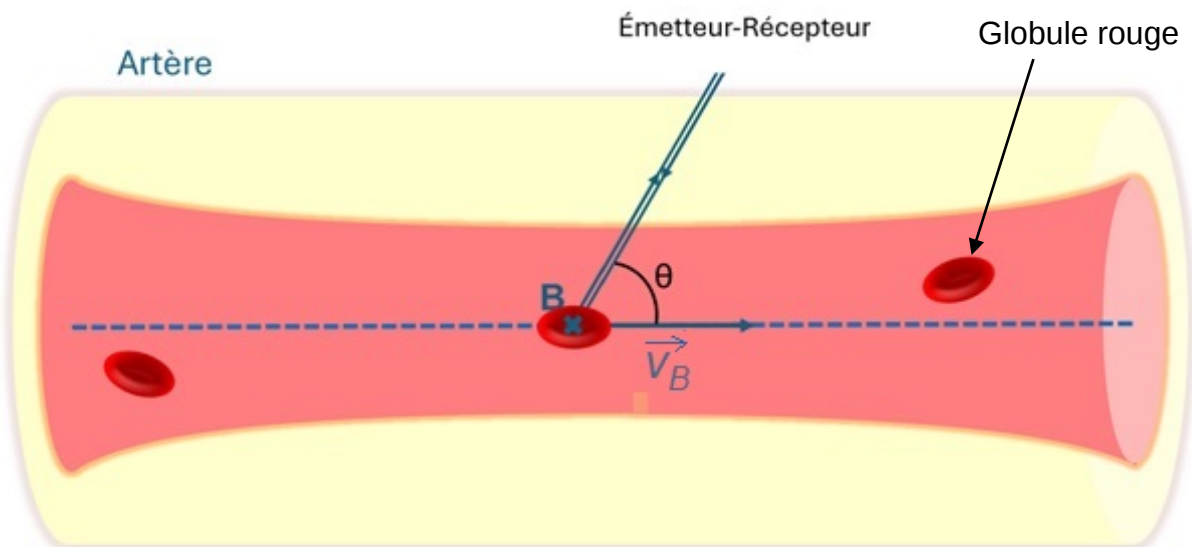


Figure 1. Mesure d'un décalage Doppler dans un écoulement sanguin.

**Q1.** Expliquer pourquoi on observe un décalage de fréquence lorsqu'un écoulement sanguin est visé.

**Q2.** À l'aide de vos connaissances, justifier que le décalage doppler  $\Delta f$  est positif dans la situation de la figure 1.

**Données :**

- fréquence de l'onde émise  $f_E = 5,0 \text{ MHz}$  ( $1 \text{ MHz} = 10^6 \text{ Hz}$ ) ;
- célérité de l'onde ultrasonore dans les milieux considérés :  $c = 1,5 \times 10^3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  ;
- expression du décalage Doppler en fonction de la valeur de la vitesse  $v$  de l'écoulement, de la célérité  $c$  de l'onde, de la fréquence émise par l'émetteur  $f_E$  ainsi que de l'angle  $\theta$  défini sur la figure 1 :

$$\Delta f = 2f_E \cdot \cos \theta \cdot \frac{v}{c}$$

Après une échographie de la zone sténosée d'une artère, le décalage Doppler mesuré vaut  $\Delta f = 7,0 \text{ kHz}$  pour un angle  $\theta = 60^\circ$ .

**Q3.** Vérifier que la valeur de la vitesse  $v_B$  de l'écoulement au sein de la sténose vaut approximativement  $v_B = 2,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

**2. Modélisation de l'écoulement du sang dans une artère sténosée.**

On représente la situation d'étude dans un cas simple où le fluide traverse d'abord une section  $S_A$  puis, au niveau du rétrécissement, une section  $S_B$ . On modélisera la situation dans le cadre d'un écoulement de sang incompressible et en régime permanent.

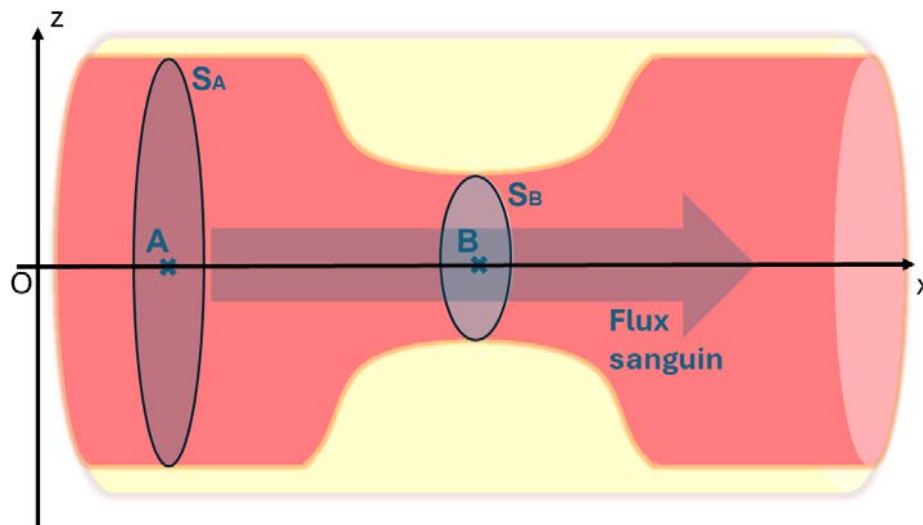


Figure 2. Schéma d'une artère sténosée.

**Données :**

- le débit volumique  $D_V$  est défini en fonction de la vitesse de l'écoulement  $v$  et de la section  $S$  tel que :  $D_V = v \cdot S$  ;
- section d'une artère carotidienne avant rétrécissement :  $S_A = 1,9 \times 10^{-5} \text{ m}^2$  ;
- débit volumique dans une artère carotidienne :  $D_V = 1,1 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

**Q4.** À l'aide des données, calculer la vitesse  $v_A$  de l'écoulement au point A.

Les différents stades de rétrécissement peuvent être identifiés en comparant la section de l'artère dans la sténose  $S_B$  et en dehors de la sténose  $S_A$  comme dans le tableau 1.

| Stade de sténose | Rapport d'ouverture $\frac{S_B}{S_A}$ | Mesures médicales préconisées                                                    |
|------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Légère           | $\frac{S_B}{S_A} > 0,36$              | Contrôles réguliers<br>Alimentation saine et arrêt du tabac<br>Exercice physique |
| Modérée          | $0,16 < \frac{S_B}{S_A} < 0,36$       | Sans symptôme : traitement médical<br>Avec symptômes : traitement chirurgical    |
| Sévère           | $\frac{S_B}{S_A} < 0,16$              | Chirurgie nécessaire<br>Risque élevé d'AVC                                       |

Tableau 1. Tableau regroupant les stades de sténose et les mesures indiquées.

**Donnée :**

➤ vitesse de l'écoulement au sein du rétrécissement :  $v_B = 2,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

**Q5.** En considérant le débit volumique  $D_V$  conservé entre les points A et B, déterminer à l'aide des données la valeur du rapport  $\frac{S_B}{S_A}$  de l'artère au sein de la sténose. Indiquer les mesures médicales préconisées.

La relation de Bernoulli permet de modéliser un tel écoulement. Elle relie la valeur de la vitesse  $v$ , l'altitude  $z$  et la pression  $P$  selon la relation :

$$\frac{1}{2}\rho \cdot v^2 + \rho \cdot g \cdot z + P = \text{constante}$$

**Q6.** Montrer que la relation de Bernoulli appliquée entre les points A et B représentés en figure 2 peut s'exprimer :

$$P_A - P_B = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (v_B^2 - v_A^2)$$

**Q7.** En s'appuyant sur l'expression littérale mais sans effectuer de calcul, préciser en justifiant votre raisonnement si la pression dans l'écoulement augmente ou diminue entre les points A et B.

**Donnée :**

➤ masse volumique du sang humain :  $\rho = 1,1 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .

**Q8.** À l'aide des données, calculer la valeur de la différence de pression  $P_A - P_B$ .

### EXERCICE 3 - RAVEN SAUNDERS, LA LANCEUSE DE POIDS AMÉRICAINE (6 POINTS)

Raven Saunders, médaillée d'argent du lancer du poids aux Jeux olympiques de Tokyo 2021 s'est qualifiée pour la finale des JO 2024 au stade de France, grâce à un lancer qui fait l'objet de cet exercice.

Le « poids » est une sphère métallique lisse de masse  $m$ . Le lanceur se trouve dans une aire de lancement délimitée par un cercle métallique et par un butoir B. La portée du jet  $D$  est mesurée du butoir B au point de chute M comme indiqué sur la figure 1.

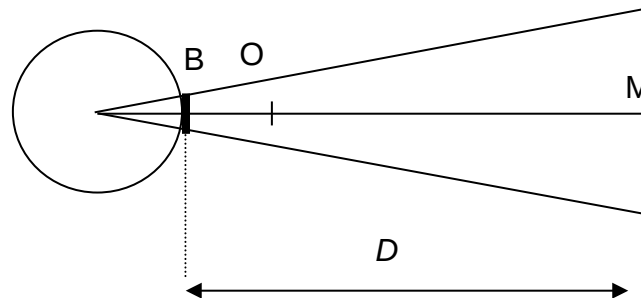


Figure 1. Schéma du secteur de lancer, vue de dessus, sans aucun souci d'échelle.

À l'issue de la phase d'élan, la sphère métallique est abandonnée en A, à la hauteur  $OA = h$  au-dessus du sol horizontal, à la distance  $BO$  du butoir B, figure 2. Le bras qui lance fait alors un angle  $\alpha$  avec l'horizontale ; cet angle  $\alpha$  est considéré comme étant celui de la direction du vecteur vitesse initial  $\vec{v}_0$  avec l'horizontale.

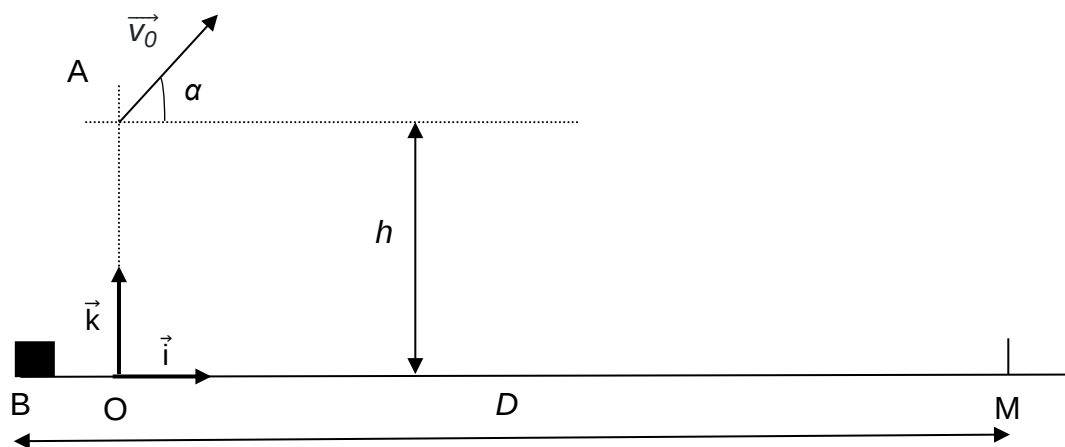


Figure 2. Schéma de la situation de lancer, vue de profil, sans aucun souci d'échelle.

#### Données :

- masse de la sphère métallique :  $m = 4,00 \text{ kg}$  ;
- portée du jet :  $D = 18,62 \text{ m}$  ;
- hauteur  $OA = h = 1,80 \text{ m}$  ;
- distance  $BO = 0,30 \text{ m}$  ;
- angle entre l'horizontale et le bras de la lanceuse  $\alpha = 45,0^\circ$  ;
- intensité de la pesanteur :  $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  ;

➤ la valeur de la force de frottements  $\vec{f}$  exercée par l'air est donnée par l'expression :

$$f = \frac{1}{2} \rho \cdot C_x \cdot S \cdot v^2 \text{ avec,}$$

S l'aire de la section équatoriale de la sphère :  $S = 7,62 \times 10^{-3} \text{ m}^2$  ;

$\rho$  est la masse volumique de l'air :  $\rho = 1,29 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  ;

$C_x$  un coefficient caractéristique de la forme de l'objet :  $C_x = 0,51$  ;

$v$  la valeur de la vitesse maximale  $v = 14 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Le référentiel d'étude est Galiléen.

**Q1.** Montrer que la valeur de la force de frottements  $\vec{f}$  est très petite devant la valeur du poids  $\vec{P}$  agissant sur la sphère métallique.

On négligera la force de frottements  $\vec{f}$  par rapport au poids  $\vec{P}$  dans la suite du problème.

**Q2.** Montrer que les équations horaires du mouvement de la sphère métallique dès l'instant où cette dernière est abandonnée en A sont :

$$\overrightarrow{OG} \begin{cases} x(t) = (v_0 \cdot \cos \alpha) \cdot t \\ z(t) = -\frac{1}{2} g \cdot t^2 + (v_0 \cdot \sin \alpha) \cdot t + h \end{cases}$$

**Q3.** Dans le repère  $(O, \vec{i}, \vec{k})$ , montrer que l'expression littérale de l'équation de la trajectoire du centre de masse de la sphère métallique est :

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

**Q4.** Montrer, en utilisant les données et le schéma de la figure 2, que l'abscisse  $x_M$  du point de chute M vaut  $x_M = 18,32 \text{ m}$ .

Pour la suite de l'exercice, on admettra que la valeur de la vitesse initiale est égale à  $v_0 = 12,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

**Q5.** Vérifier que la valeur de la durée  $t_M$  du déplacement de la sphère métallique entre A et M est d'environ 2 s.

**Q6.** En déduire la valeur  $v_M$  de la vitesse au moment du contact avec le sol.

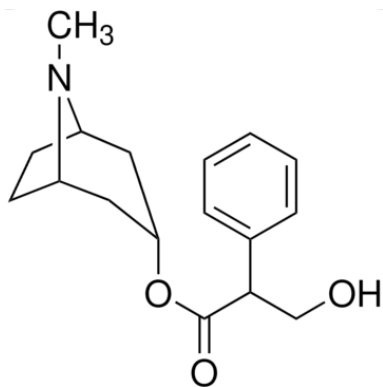
**Q7.** L'origine des énergies potentielles étant fixée au niveau du sol horizontal, exprimer l'énergie mécanique  $E_m$  de la sphère métallique au moment du lancer en fonction de sa masse  $m$ , de la hauteur  $h$ , de l'intensité de la pesanteur  $g$  et de la vitesse initiale  $v_0$ .

**Q8.** En déduire l'expression de la vitesse  $v_M$  au point de chute M, à l'aide d'un raisonnement énergétique. Calculer sa valeur et vérifier la cohérence avec le résultat de la question **Q6**.

## EXERCICE 1 - L'ATROPINE

DOCUMENT RÉPONSE À RENDRE AVEC LA COPIE

Question Q10.



Question Q11.

