

## DEVOIR SURVEILLE DE SCIENCES PHYSIQUES N°7

*Cette épreuve comporte quatre (4) pages numérotées 1/4, 2/4,3/4 et 4/4.  
 Toute calculatrice scientifique est autorisée.*

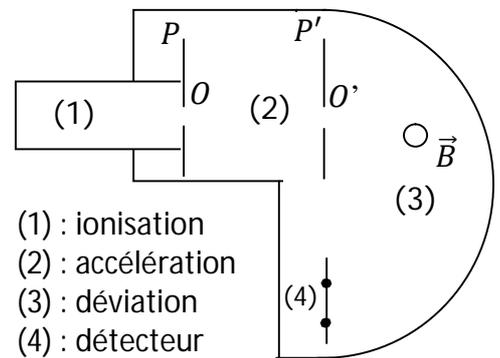
**EXERCICE 1** : (5 points)

Une méthode de dépistage du dopage fondée sur la spectrométrie de masse

Le dopage par les stéroïdes anabolisants administrés aux sportifs pour que leurs muscles se développent serait assez facile à dépister. Pourtant des stéroïdes anabolisants, notamment la testostérone, l'hormone mâle, sont naturellement présents dans l'organisme : comment faire la différence entre l'hormone naturelle et l'anabolisant interdit ?

On propose une méthode fondée sur la spectrométrie de masse isotopique, où l'on détermine le rapport des concentrations en carbone 13 (<sup>13</sup>C) et en un de ses isotopes le carbone 12 (<sup>12</sup>C). En effet, les rapports qui caractérisent les matières premières utilisées pour la préparation de la testostérone de synthèse et les molécules bio synthétisées par l'homme à partir de son alimentation, sont différents.

On propose dans cette méthode de mesurer le rapport des concentrations en carbone <sup>13</sup>C et en carbone <sup>12</sup>C du dioxyde de carbone provenant de la combustion de l'hormone extraite d'un prélèvement d'urine de l'athlète contrôlé, par la technique de la spectrométrie de masse. Le déplacement des particules dans les chambres d'accélération et de déviation s'effectue dans le vide. (Voir figure)



1. Accélération.

La chambre d'ionisation (1) produit des ions <sup>12</sup>CO<sub>2</sub><sup>+</sup> de masse m<sub>1</sub> et des ions <sup>13</sup>CO<sub>2</sub><sup>+</sup> de masse m<sub>2</sub>. On néglige les forces de pesanteur dans la suite du problème ; le mouvement des ions est rapporté au référentiel du laboratoire considéré galiléen. Les ions <sup>12</sup>CO<sub>2</sub><sup>+</sup> et <sup>13</sup>CO<sub>2</sub><sup>+</sup> pénètrent dans la chambre d'accélération en O avec une vitesse initiale considérée comme nulle ; ils sont soumis à un champ électrique, supposé uniforme, de vecteur entre les plaques P et P' et sortent de la chambre en O' avec respectivement des vitesses de valeurs v<sub>1</sub> et v<sub>2</sub>.

- 1.1 Représenter qualitativement le vecteur champ électrique  $\vec{E}$  et justifier la réponse. Indiquer le signe de la tension  $U_0 = V_p - V_{p'}$ .
- 1.2 En appliquant le théorème de l'énergie cinétique à l'ion <sup>12</sup>CO<sub>2</sub><sup>+</sup>, exprimer v<sub>1</sub> en fonction de m<sub>1</sub>, e et U<sub>0</sub>. En déduire sans nouveau calcul l'expression de la vitesse v<sub>2</sub> des ions <sup>13</sup>CO<sub>2</sub><sup>+</sup>.
- 1.3 Calculer les valeurs numériques de v<sub>1</sub> et v<sub>2</sub>.

Données : |U<sub>0</sub>|=4000V; m<sub>1</sub>=7,31 10<sup>-26</sup> kg; m<sub>2</sub> = 7,47 10<sup>-26</sup> kg ; e=1,6 10<sup>-19</sup> C

2. Déviation.

Les ions <sup>12</sup>CO<sub>2</sub><sup>+</sup> et <sup>13</sup>CO<sub>2</sub><sup>+</sup> pénètrent en O' dans une zone où règne un champ magnétique uniforme  $\vec{B}$ , permettant d'atteindre la plaque détectrice (4) sur laquelle On observe deux taches I<sub>1</sub> et I<sub>2</sub>.

- 2.1 Représenter sur un schéma le vecteur champ magnétique permettant le mouvement circulaire uniforme des ions dans la direction attendue. Justifier la réponse.
- 2.2 Donner les expressions du rayon  $R$  d'un ion en fonction de  $m, v, e, B$  puis en fonction de  $m, e, U_0, B$ . En déduire le rapport des rayons  $R_1$  et  $R_2$  respectivement des trajectoires des ions  $^{12}\text{CO}_2^+$  et  $^{13}\text{CO}_2^+$  en fonction de leurs masses  $m_1$  et  $m_2$  puis les positions  $I_1$  et  $I_2$  des points d'impact des ions de masse  $m_1$  et  $m_2$ . Les placer sur un schéma.
- 2.3 Exprimer la distance  $I_1I_2$  en fonction de  $m_1, m_2, e, U_0$  et  $B$ .
- 2.4 Calculer la distance sachant que  $B = 0,25 \text{ T}$ .

### 3. Résultat d'un contrôle.

L'analyse des impacts a permis de dénombrer les atomes  $^{12}\text{C}$  et  $^{13}\text{C}$  contenus dans les ions arrivés sur le détecteur pendant une certaine durée.

Les résultats des comptages effectués à partir des échantillons d'urine de deux athlètes A et B sont rassemblés dans le tableau suivant et à compléter.

	$N_1 (^{12}\text{C})$	$N_2 (^{13}\text{C})$	$R=N_2 / N_1$	$\delta$	dopage	
athlète A	2231	24			oui	non
athlète B	2575	27			oui	non
étalon standard	2307	25				

On y fait figurer également les comptages réalisés à partir d'un étalon standard international.

Les résultats des équipes de recherche sur cette méthode font référence à un coefficient défini par la relation :  $\delta = 1000(R - R_{\text{standard}}) / R_{\text{standard}}$  avec  $R = N_2 / N_1$ .

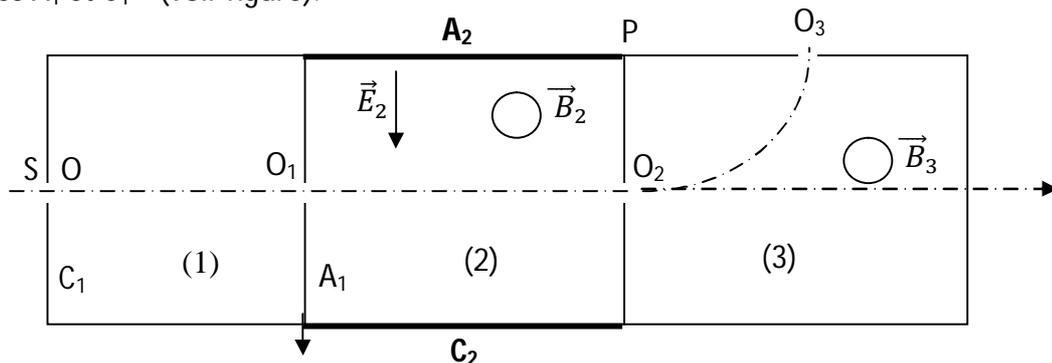
Les nombres d'atomes de carbone 12 et 13, respectivement  $N_1$  et  $N_2$ , donnés dans le tableau, tiennent compte de corrections dues, en particulier, à la présence d'isotopes de l'oxygène. On considère que l'athlète s'est dopé si la valeur du coefficient  $\delta$  est notablement inférieure à -27.

Compléter le tableau et déterminer à partir de ses données, s'il y a eu dopage pour les athlètes A et B.

### EXERCICE 2 : (5 points)

Une chambre d'ionisation produit des ions  $^{20}\text{Ne}^+$  et  $^{22}\text{Ne}^+$  de masse respectives  $m_1$  et  $m_2$ . Leur poids est négligeable devant la force électromagnétique qu'ils subissent et leur mouvement a lieu dans le vide.

1. Les ions produits pénètrent avec une vitesse négligeable dans un accélérateur où ils sont soumis à un champ électrique uniforme  $\vec{E}_1$  créé par une tension  $U_1 = V_{A_1} - V_{C_1}$  établie entre deux plaques conductrices  $A_1$  et  $C_1$  (voir figure).



- 1.1 Représenter sur un schéma le vecteur champ électrique  $\vec{E}_1$  et déterminer le signe de la tension  $U_1$ .
- 1.2 Exprimer  $v_1$ , vitesse de l'isotope  $^{20}\text{Ne}^+$  en  $O_1$ , sortie de l'accélérateur, en fonction de  $e$ ,  $U_1$  et  $m_1$ .  
Calculer sa valeur pour  $U_1 = 2 \cdot 10^4 \text{ V}$ .
- 1.3 Montrer qu'en  $O_1$  les particules possèdent la même énergie cinétique.
2. Passant par le trou  $O_1$ , les ions pénètrent dans un  $2/4$  sur de vitesse limité par les plaques  $A_2$  et  $C_2$ .  
Dans cette région règne un champ électrique uniforme  $\vec{E}_2$  et un champ magnétique  $\vec{B}_2$  de direction perpendiculaire au plan de la figure. Les ions ayant en  $O_1$  la vitesse  $\vec{v}_1$  traversent l'espace (2) sans être déviés.
  - 2.1 Montrer que leur mouvement est alors rectiligne uniforme.
  - 2.2 Représenter  $\vec{B}_2$  sur la figure. Justifier votre réponse.
  - 2.3 Calculer la tension  $U_2$  que l'on doit appliquer entre  $A_2$  et  $C_2$  si  $B_2 = 2 \cdot 10^{-2} \text{ T}$  et  $d(A_2C_2) = 10 \text{ cm}$ .
  - 2.4 Qu'advient-il dans (2) des ions  $^{22}\text{Ne}^+$ ?
3. Les ions qui arrivent en  $O_2$  pénètrent dans l'espace (3) où règne un champ magnétique uniforme  $\vec{B}_3$  de direction perpendiculaire au plan de la figure.
  - 3.1 Montrer que leur mouvement est alors circulaire uniforme.
  - 3.2 Les ions décrivent dans (3) l'arc de cercle  $O_2O_3$  de centre P.  
Déterminer le sens de et la valeur de  $\vec{B}_3$ , si  $PO_3 = PO_2 = 5 \text{ cm}$ . Représenter  $\vec{B}_3$  sur la figure.  
On donne :  $m(^{22}\text{Ne}^+) = 22 \cdot u$  et  $m(^{20}\text{Ne}^+) = 20 \cdot u$  avec  $u = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$  ;  $e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$ .

**EXERCICE 3** : (5 points)

Un groupe d'élève décide de déterminer la constante d'acidité du couple acide benzoïque/ion benzoate. Il dose  $10 \text{ cm}^3$  de solution d'acide benzoïque  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$  de concentration inconnue par une solution d'hydroxyde de sodium(soude) de concentration  $10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ . Les variations du pH en fonction du volume  $V$  de soude versé sont :

V (cm <sup>3</sup> )	0	1	2	3	5	6	8	9	9,5	9,8	9,9	10	10,1	11	12	14	16
pH	2,6	3,2	3,6	3,8	4,2	4,4	4,8	5,2	5,5	5,9	6,2	8,5	10,7	11,7	12	12,4	12,7

1.
  - 1.1 Tracer la courbe  $\text{pH} = f(V)$ . On prendra pour échelle :  
 $1 \text{ cm} \leftrightarrow 1 \text{ cm}^3$  (en abscisse)  
 $1 \text{ cm} \leftrightarrow 1$  unité de pH (en ordonnée)
  - 1.2 Qu'appelle-t-on équivalence acido-basique ?
  - 1.3 D'après l'allure de la courbe, s'agit-il d'un acide faible ou d'un acide fort ? Citer trois critères qui justifient votre choix.
  - 1.4 Déterminer graphiquement les coordonnées du point d'équivalence.
2.
  - 2.1 Ecrire l'équation bilan de la réaction qui a lieu dans le bécher.
  - 2.2 Calculer la concentration de l'acide benzoïque.
3. Déterminer graphiquement la valeur de la constante  $\text{pK}_a$  du couple acide benzoïque/ion benzoate. En déduire la constante d'acidité  $K_a$  du couple.
4. Quand  $\text{pH} = 7$ , quelle est de l'espèce basique ou acide du couple, celle qui est prédominante ?
5. On dispose de deux indicateurs colorés :
  - L'hélianthine (zone de virage 3,2-4,4)
  - La phénolphthaléine (zone de virage 8-10)

Reporter ces zones de virage sur le graphe  $\text{pH}=\text{f}(\text{V})$ . Lequel de ces deux indicateurs colorés pourrait-on utiliser pour effectuer ce dosage ? Justifier votre réponse.

**EXERCICE 4** : (5 points)

Le vitascorbol 500 est un médicament contenant de la vitamine C ou acide ascorbique. L'acide ascorbique est un monoacide faible que l'on notera HA. Sa base conjuguée, l'ion ascorbate sera notée  $\text{A}^-$

1. Un comprimé de vitascorbol 500 est écrasé et dissous dans de l'eau ; on obtient ainsi  $V_a=100\text{mL}$  de solution  $S_a$ . Afin de déterminer la masse d'acide ascorbique dans un comprimé, on dose la solution  $S_a$  par une solution  $S_b$  d'hydroxyde de sodium de concentration  $c_b=0,33\text{mol/L}$ . On utilise à cet effet un indicateur coloré pour marquer la fin du dosage.
  - 1.1 Faire le schéma annoté du dispositif utilisé pour le dosage.
  - 1.2 Ecrire l'équation bilan de la réaction chimique qui a lieu.
  - 1.3 Parmi les indicateurs colorés suivants, choisir celui qui convient pour ce dosage. Justifier votre réponse.

Indicateur coloré	Zone de virage
Hélianthine	3,1-4,5
Rouge de crésol	7,2-8,2
Rouge de méthyl	4,2-6,2

- 1.4 L'équivalence s'obtient pour un volume versé  $V_{bE}=8,6\text{mL}$ . En déduire la valeur de la concentration  $C_a$  de la solution  $S_a$ .
  - 1.5 La masse molaire de l'acide ascorbique est  $M=176,1\text{g/mol}$ . Déterminer la masse  $m$  d'acide ascorbique contenu dans un comprimé.
2. Le dosage de la solution d'acide ascorbique précédente  $S_a$  par la solution  $S_b$  de soude de concentration  $c_b=0,33\text{mol/L}$ , en présence d'un pH-mètre a permis d'obtenir le tableau suivant :

$V_b$ (mL)	0	3	3,5	4	4,3	4,5	5	5,5
pH	2,9	3,8	3,9	4	4,1	4,15	4,25	4,35

- 2.1 En déduire la valeur du  $\text{pK}_a$  du couple  $\text{HA}/\text{A}^-$ .
  - 2.2 Donner l'allure de la courbe de dosage de  $S_a$  par  $S_b$ . (Préciser les points caractéristiques).
3. On remplace le comprimé précédent par un comprimé de vitascorbol 500 tamponné contenant 250mg d'acide ascorbique et 281,2mg d'ascorbate de sodium de masse molaire  $M'=198,1\text{g/mol}$ . La dissolution de l'ascorbate de sodium donne l'ion ascorbate  $\text{A}^-$  et l'ion  $\text{Na}^+$ .
    - 3.1 Quel est le pH de la solution aqueuse  $S'$  de volume 100mL obtenue en dissolvant ce comprimé ?
    - 3.2 Donner le nom et les propriétés de la solution  $S'$ .
    - 3.3 A quelle partie de la courbe précédent correspond la solution  $S'$ . Justifier la réponse.