

**EXERCICE I : MOUVEMENT D'UN PROTON (10 points)**

**1. MOUVEMENT D'UN PROTON DANS LA RÉGION I**

1.1. Poids du proton :  $P = m \cdot g = 1,7 \cdot 10^{-27} \times 9,8 = 1,7 \cdot 10^{-26} \text{ N}$

Force électrique exercée sur le proton :  $F = e \cdot E = 1,6 \cdot 10^{-19} \times 1,0 \cdot 10^3 = 1,6 \cdot 10^{-16} \text{ N}$

La force électrique est donc  $10^{10}$  fois plus intense que le poids du proton qui peut donc être négligé.

1.2. Le système étudié est le proton, de masse constante. On se place dans le référentiel terrestre que l'on considère comme galiléen. La seule force considérée est la force électrique  $\vec{F} = e \cdot \vec{E}$  car le poids du proton est négligé au même titre que les frottements (le mouvement a lieu dans le vide). D'après la deuxième loi de Newton appliquée à un système de masse constante, on obtient :

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} \text{ soit } e \cdot \vec{E} = m \cdot \vec{a} \text{ ou encore } \vec{a} = \frac{e \cdot \vec{E}}{m}$$

1.3. D'après la figure, on a  $\vec{E} = E \cdot \vec{i}$  donc  $\vec{a} = a_x \cdot \vec{i} + a_y \cdot \vec{j} = \frac{e \cdot E}{m} \cdot \vec{i}$  d'où  $\boxed{a_x = \frac{e \cdot E}{m}}$  et  $\boxed{a_y = 0}$

1.4. D'après ce qui précède, l'accélération est constante sur l'axe  $(Ox)$  et nulle sur l'axe  $(Oy)$ . Le mouvement du proton est donc rectiligne et uniformément accéléré sur l'axe  $(Ox)$ .

**2. MOUVEMENT D'UN PROTON DANS LA RÉGION II**

Dans la région II, le proton n'est soumis qu'à son poids, qui présente une intensité très faible comme nous l'avons démontré. En effet, la force électrostatique y est nulle car le champ électrique y est nul. On peut donc considéré que, dans le référentiel du laboratoire considéré galiléen, le proton n'est soumis à aucune force. En vertu du principe d'inertie, le mouvement du proton dans la région II est donc rectiligne uniforme.

**3. MOUVEMENT D'UN PROTON DANS LA RÉGION III**

3.1. Le proton étant dévié vers le haut, il faut que la force électrique soit dirigée vers le haut. En outre, on sait que  $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$  et que le champ électrique est perpendiculaire aux armatures donc la force est dirigée vers le haut et perpendiculairement aux armatures. D'après la relation précédente, le champ électrique a même sens et même direction que la force car la charge électrique d'un proton est positive.

3.2. Le proton doit être dévié vers le haut : il doit donc être attiré par l'armature A qui doit donc être chargée négativement. Ainsi, l'armature B doit être chargée positivement (deux charges de même signe se repoussent).

3.3. Le système étudié est le proton, de masse constante. On se place dans le référentiel terrestre que l'on considère comme galiléen. La seule force considérée est la force électrique  $\vec{F} = e \cdot \vec{E}$  car le poids du proton est négligé au même titre que les frottements (le mouvement a lieu dans le vide). D'après la deuxième loi de Newton appliquée à un système de masse constante, on obtient :

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} \text{ soit } e \cdot \vec{E} = m \cdot \vec{a} \text{ ou encore } \vec{a} = \frac{e \cdot \vec{E}}{m}$$

En outre, on a  $\vec{E} = E \cdot \vec{j}$  donc  $\vec{a} = a_x \cdot \vec{i} + a_y \cdot \vec{j} = \frac{e \cdot E}{m} \cdot \vec{j}$  d'où  $\boxed{a_x = 0}$  et  $\boxed{a_y = \frac{e \cdot E}{m}}$

**3.4.** Par intégration, on trouve les équations horaires pour la vitesse :

$$v_x = v_{x_0} = V_0 \text{ et } v_y = \frac{e \cdot E}{m} \cdot t + v_{y_0} = \frac{e \cdot E}{m} \cdot t \text{ car la vitesse initiale est horizontale : } \vec{V}_0 = V_0 \cdot \vec{i}$$

De même, par intégration, on trouve les équations horaires pour la position :

$$x(t) = V_0 \cdot t + x_0 = V_0 \cdot t \text{ et } y(t) = \frac{e \cdot E}{2 \cdot m} \cdot t^2 + y_0 = \frac{e \cdot E}{2 \cdot m} \cdot t^2 \text{ car le proton part de l'origine } O \text{ du repère choisi.}$$

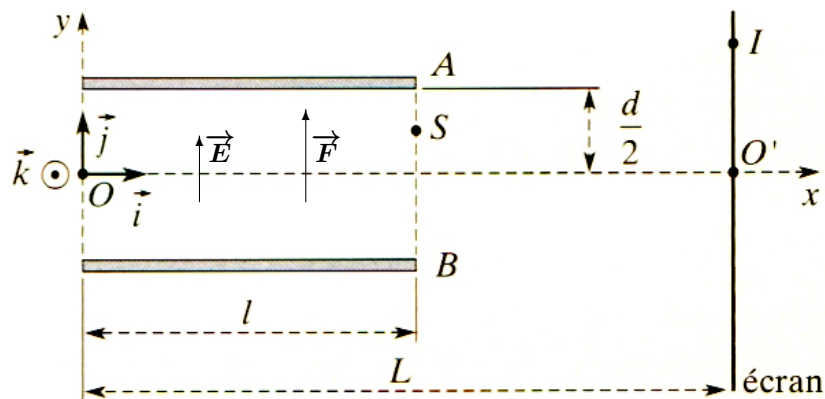
**3.5.** D'après la première équation horaire, on obtient que  $t = \frac{x}{V_0}$  et en injectant cette relation dans la seconde

$$\text{équation horaire, on obtient l'équation de la trajectoire : } y = \frac{e \cdot E}{2 \cdot m} \cdot t^2 = \frac{e \cdot E}{2 \cdot m} \cdot \left( \frac{x}{V_0} \right)^2 = \frac{e \cdot E}{2 \cdot m \cdot V_0^2} \cdot x^2$$

**3.6.** Lorsque le proton arrive à l'extrémité du condensateur plan,  $x_S = \ell$ . En outre,  $E = \frac{U}{d}$ . En remplaçant dans l'équation de la trajectoire précédente, on obtient l'expression de  $y_S$  :

$$y_S = \frac{e \cdot E}{2 \cdot m \cdot V_0^2} \cdot x_S^2 = \frac{e \cdot U \cdot \ell^2}{2 \cdot m \cdot d \cdot V_0^2} = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \times 4,0 \cdot 10^3 \times (6,0 \cdot 10^{-2})^2}{2 \times 1,7 \cdot 10^{-27} \times 6,0 \cdot 10^{-2} \times (1,5 \cdot 10^6)^2} = 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$y_S = 5,0 \text{ mm}$$



## EXERCICE II : ÉQUILIBRES ACIDO-BASIQUES EN MILIEU BIOLOGIQUE (10 points)

### 1. Les solutions tampon : maintien du pH des milieux biologiques

**1.1.** D'après le **document 1**, le  $pK_A$  du système phosphate doit être proche du pH du milieu intracellulaire pour être le plus efficace. Or le pH du milieu intracellulaire est compris entre 6,8 et 7,0. On en déduit donc que  $6,8 < pK_A < 7,0$  (ou alors un  $pK_A$  proche de 6,9).

**1.2.** D'après le **document 2**,  $[CO_2] = \alpha \times p(CO_2) = 0,030 \times 40 = 1,2 \text{ mmol} \cdot L^{-1}$

$$\text{Or } pH = pK_A + \log \frac{[HCO_3^-]}{[CO_2, H_2O]} = 6,1 + \log \left( \frac{24}{1,2} \right) = 7,4$$

Or, d'après le **document 1**, le pH du sang varie peu autour de 7,4 donc le pH est bien maintenu à une valeur habituelle.

### 2. Les perturbations et les mécanismes régulateurs

L'expression de la constante d'acidité du couple  $CO_2(aq)/HCO_3^-(aq)$  est :  $K_A = \frac{[HCO_3^-] \times [H_3O^+]}{[CO_2, H_2O]}$

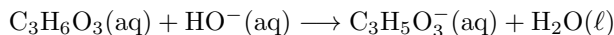
Or une hyperventilation abaisse la quantité, donc la concentration, de dioxyde de carbone dans le sang donc  $[CO_2, H_2O]$  diminue rapidement. Puisque  $[HCO_3^-]$  varie lentement et que  $K_A$  est constante, cela implique que  $[H_3O^+]$  diminue et par conséquent, que le pH augmente.

### 3. Un acide de l'organisme : l'acide lactique

**3.1.** Le pH d'une solution d'acide fort de concentration en soluté apporté  $c$  est donné par la relation suivante :  $pH = -\log c = -\log(1,0 \cdot 10^{-2}) = 2,0$  donc la courbe 2 correspond au titrage de l'acide fort.

**3.2.** Le réactif titré est l'acide lactique  $C_3H_6O_3$  et le réactif titrant sont les ions hydroxyde  $HO^-$ .

L'équation-bilan de la réaction support du titrage est donc la suivante :



**3.3.** À la demie équivalence, on a introduit la moitié de la quantité de matière d'ions hydroxyde nécessaires pour titrer l'acide lactique. Comme la réaction du titrage est totale, on en déduit qu'à la demie équivalence, la moitié de l'acide lactique présent initialement est encore dans le mélange réactionnel et que l'autre moitié a réagi pour former des ions lactate  $C_3H_5O_3^-$ . On a donc un mélange contenant autant d'acide lactique que de sa base conjuguée. Autrement dit, à la demie équivalence, on a  $[C_3H_6O_3]_{1/2} = [C_3H_5O_3^-]_{1/2}$ .

$$\text{Or nous savons que } pH_{1/2} = pK_A + \log \frac{[C_3H_5O_3^-]_{1/2}}{[C_3H_6O_3]_{1/2}} = pK_A + \log 1 = pK_A. ?$$

**3.4.** Par lecture graphique, on détermine par la méthode des tangentes que  $V_E = 10 \text{ mL}$ . Ainsi,  $\frac{V_E}{2} = 5,0 \text{ mL}$ .  
On lit, sur la **courbe 1** correspondant au titrage de l'acide lactique, que  $pH_{1/2} = 3,9$ . Par conséquent, le  $pK_A$  du couple de l'acide lactique est de 3,9.

### 4. Précision d'un titrage

**4.1.** D'après l'équation-bilan de la réaction support du titrage, les réactifs réagissent mole à mole. Or, à l'équivalence, ils ont été introduits dans les proportions stœchiométriques.

On en déduit que  $n_i(C_3H_6O_3) = n_E(HO^-)$ , ce qui se traduit par  $c_{A_{exp}} \times V_A = c_B \times V_E$ . On en déduit que  $c_{A_{exp}} = \frac{c_B \times V_E}{V_A} = \frac{3,00 \cdot 10^{-2} \times 10,1 \cdot 10^{-3}}{20,0 \cdot 10^{-3}} = 1,52 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot L^{-1}$

## 4.2. Évaluation des incertitudes

**4.2.1.** Incertitude relative sur  $V_E$  :  $\frac{\Delta V_E}{V_E} = \frac{0,3}{10,1} = 3,0 \cdot 10^{-2}$

Incetitude relative sur  $V_A$  :  $\frac{\Delta V_A}{V_A} = \frac{0,05}{20,0} = 2,5 \cdot 10^{-3} = \frac{1}{12} \times \frac{\Delta V_E}{V_E}$

Incetitude relative sur  $c_B$  :  $\frac{\Delta c_B}{c_B} = \frac{0,01}{3,00} = 3,3 \cdot 10^{-3} = \frac{1}{9} \times \frac{\Delta V_E}{V_E}$

On en déduit que les deux incertitudes relatives sur  $V_A$  et sur  $c_B$  sont environ 10 fois plus petites que celle sur  $V_E$  et il est donc légitime de les négliger.

**4.2.2.** Incertitude absolue sur  $c_{A_{exp}}$  :  $\Delta c_{A_{exp}} = c_{A_{exp}} \times \frac{\Delta V_E}{V_E} = 1,52 \cdot 10^{-2} \times \frac{0,3}{10,1} = 4,5 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

On en déduit que  $1,52 \cdot 10^{-2} - 4,5 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \leq c_{A_{exp}} \leq 1,52 \cdot 10^{-2} + 4,5 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , autrement dit, l'encadrement recherché est :  $1,48 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \leq c_{A_{exp}} \leq 1,57 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

**4.2.3.** L'encadrement pour la concentration molaire attendue est, d'après l'énoncé :

$$2,17 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \leq c_{A_{exp}} \leq 2,27 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

Ces deux encadrements ne se recoupent pas ; le résultat expérimental n'est donc pas cohérent avec la valeur attendue.

**4.2.4.** Il se pourrait que l'élève n'ait pas déterminé convenablement l'équivalence : erreur de lecture, erreur dans la préparation de la burette, erreur de repérage de la teinte de l'indicateur coloré.

Il se pourrait aussi que l'élève n'ait pas réalisé le prélèvement d'acide à titrer correctement (mauvaise utilisation de la pipette jaugée par exemple).

Il se pourrait encore que la concentration de la solution titrante indiquée sur l'étiquette soit fausse ou encore que la concentration attendue soit erronée.