La chute avec frottements

Correction des exercices

Exercice 1

Référentiel : terrestre ; système : la goutte d'eau

1) Modèle de la chute libre

1.1. *loi horaire $y(t)$ du mouvement de chute libre*

Si la goutte d'eau est en chute libre, elle n'est soumise qu'à la seule action de son poids

Bilan des forces : $\overrightarrow{P}$ le poids de la goutte d'eau

D'après la seconde loi de Newton $\Sigma\overrightarrow{F_{ext}} = m.\overrightarrow{a} \Rightarrow \overrightarrow{P} = m \times \overrightarrow{a} \Rightarrow m \times \overrightarrow{g} = m \times \overrightarrow{a}$ ⇒ $\boxed{\overrightarrow{g} = \overrightarrow{a}}$

$\boxed{\overrightarrow{a}\left\{a_y = g\right.}$ ⇒ $\overrightarrow{v}\left\{v_y = gt + cte\right.$ or à t = 0 la vitesse est nulle donc on a ⇒ $\boxed{\overrightarrow{v}\left\{v_y = gt\right.}$

$\overrightarrow{v}\left\{v_y = gt\right.$ ⇒ $\overrightarrow{OM}\left\{y = \frac{1}{2}gt^2 + cte\right.$ or à t = 0 la goutte se trouve au point $y_0 = 0$ donc on a ⇒ $\boxed{\overrightarrow{OM}\left\{y = \frac{1}{2}gt^2\right.}$

On a donc l'équation horaire $y(t) = \frac{1}{2}gt^2$

1.2. *vitesse au sol* : Lorsque la goutte atteint le sol on a y = H ⇒ $y(t) = \frac{1}{2}gt^2 = H \rightarrow t = \sqrt{\frac{2H}{g}}$

Or $v = gt \rightarrow v = g \times \sqrt{\frac{2H}{g}} = \sqrt{\frac{g^2 \times 2H}{g}} = \sqrt{2gH}$

1.3. vitesse au sol : $v = \sqrt{2gH} = \sqrt{2 \times 10 \times 1200}$ =155 m.s^{-1} = **558 km.h^{-1} !!**

La vitesse atteinte par la goutte n'est évidemment pas de 558 km.h^{-1} car la goutte n'est réellement pas en chute libre : elle subit les frottements de l'air

2) Prise en compte des actions de l'air

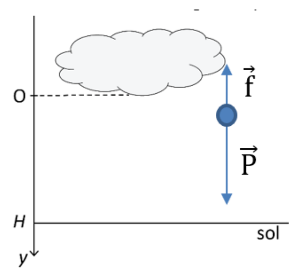
2.1. *Influence de la poussé d'Archimède*

Poids de la goutte : $\boldsymbol{P = mg = 40.10^{-6} \times 10}$= **4.10^{-4} N**

Poussée d'Archimède : $\Pi_a = \rho_{air}Vg = 1{,}3.10^{-3} \times 0{,}04.10^{-3} \times 10$ = **5,2.10^{-7} N** ⇒ $\frac{P}{\Pi_a} = \frac{4.10^{-4}}{5{,}2.10^{-7}}$ = 770

La valeur du poids est plus de 700 fois plus importante que la valeur de la poussée d'Archimède ; on peut donc négliger la poussée d'Archimède devant le poids.

2.2. *Equation différentielle*



Bilan des forces :

$\vec{P}$, le poids de la goutte d'eau de valeur $P = m \times g$

$\vec{f}$, la force de frottement de valeur $f = k \times v$

D'après la seconde loi de Newton $\sum\overrightarrow{F_{ext}} = m \times \vec{a}$ ⇒ $\vec{P} + \vec{f} = m \times \vec{a}$

$\vec{P}\left\{P_y = P = m \times g\right.$; $\vec{f}\left\{f_y = -f = -k \times v\right.$

On projette suivant l'axe oy : $mg - kv = m\frac{dv}{dt} \rightarrow m\frac{dv}{dt} + kv = mg$ ⇒ $\boxed{\frac{dv}{dt} + \frac{k}{m}v = g}$

2.3. *Solution de l'équation différentielle*

1ère méthode

La solution d'une équation différentielle du type $y' + ay = b$ est une fonction de la forme

$y = C.e^{-ax} + \frac{b}{a}$ où C est une constante déterminée en utilisant la valeur de y lorsque $x = 0$

La solution de l'équation $\frac{dv}{dt} + \frac{k}{m}v = g$ se met sous la forme : $v(t) = Cte \times e^{-\frac{k}{m}t} + \frac{g.m}{k}$

A t = 0 on a $v(0) = 0$ ↳ $v(0) = Cte \times e^{-\frac{k}{m}\times 0} + \frac{g.m}{k} = 0$ ↳ $cte + \frac{g.m}{k} = 0 \rightarrow cte = -\frac{g.m}{k}$

$$v(t) = -\frac{g.m}{k} \times e^{-\frac{k}{m}t} + \frac{g.m}{k} = \frac{g.m}{k}\left(1 - e^{-\frac{k}{m}t}\right)$$

2nde méthode

$v(t) = \frac{gm}{k}\left(1 - e^{-\frac{k}{m}t}\right) = \frac{gm}{k} - \frac{gm}{k}e^{-\frac{k}{m}t}$ ↳ $\frac{dv}{dt} = -\frac{gm}{k} \times \frac{-k}{m}e^{-\frac{k}{m}t} = g\,e^{-\frac{k}{m}t}$

Donc : $\frac{dv}{dt} + \frac{k}{m}v = g\,e^{-\frac{k}{m}t} + \frac{k}{m}.\frac{gm}{k}\left(1 - e^{-\frac{k}{m}t}\right) = g\,e^{-\frac{k}{m}t} + g\left(1 - e^{-\frac{k}{m}t}\right) = g$

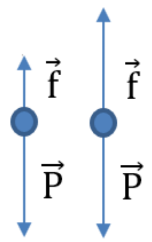
L'expression $v(t) = \frac{gm}{k}\left(1 - e^{-\frac{k}{m}t}\right)$ est bien une solution de l'équation différentielle.

On retrouve la condition initiale sur la vitesse : à t = 0, on a bien v= 0

2.4. *vitesse limite*

1ère méthode	2nde méthode
La vitesse limite est solution de l'équation différentielle $\frac{dv_{lim}}{dt} + \frac{k}{m}v_{lim} = g$ Lorsque la goutte atteint sa vitesse limite, la vitesse reste constante : ↳ $\frac{dv_{lim}}{dt} = 0 \rightarrow \frac{k}{m}v_{lim} = g$	La vitesse atteint sa vitesse limite lorsque $t \rightarrow \infty$ $v_{lim} = v(t \rightarrow \infty) = \frac{gm}{k}\left(1 - e^{-\frac{k}{m}t}\right)$ $v_{lim} = \frac{gm}{k}(1 - e^{-\infty}) = \frac{gm}{k}$
$v_{lim} = \frac{g \times m}{k} = \frac{10 \times 40.10^{-6}}{4{,}4.10^{-5}} = \mathbf{9,1\ m.s^{-1} \approx 33\ km.h^{-1}}$	

2.5. *Temps caractéristique :* $\tau = \frac{m}{k} = \frac{40.10^{-6}}{4{,}4.10^{-5}} = \mathbf{0{,}91\ s}$



(1) (2)

(1) régime transitoire
(2) régime permanent

2.6. *Régime permanent*

- On dit que la goutte d'eau atteint le régime permanent lorsqu'elle atteint sa vitesse limite.

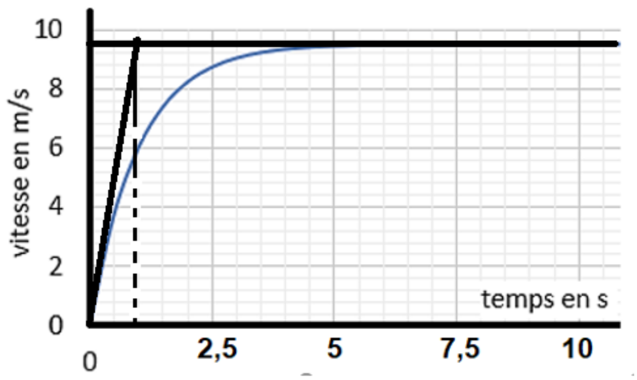
- Lorsque que la vitesse est constante, on a $\Sigma\overrightarrow{F_{ext}} = \overrightarrow{0}$ donc $\overrightarrow{P} + \overrightarrow{f} = \overrightarrow{0}$

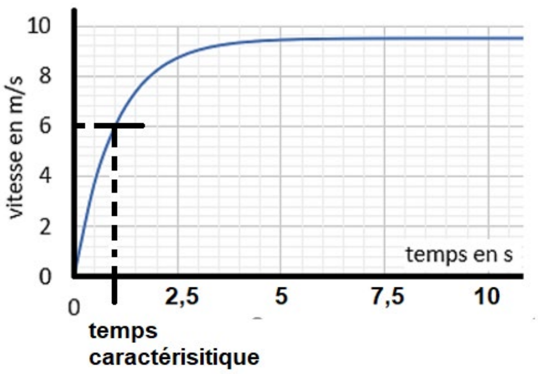
$\overrightarrow{P}$ et $\overrightarrow{f}$ sont donc 2 forces opposées de même intensité

- Le régime permanent est atteint au bout de $5 \times \tau \approx 5$ s environ.

2.7. *vérification graphique*

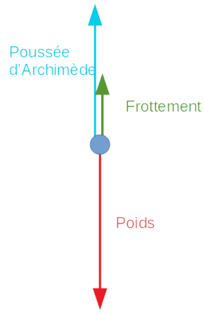
1ère méthode :	**2nde méthode :**
On trace la tangente à l'origine du graphe. Cette tangente coupe la droite horizontale d'ordonnée v_{lim} = 9 m.s^{-1} au point d'abscisse t = 1 s. Cette valeur correspond à la durée caractéristique t	On cherche l'abscisse du point qui a pour ordonnée 2/3 de la vitesse limite (67% de la vitesse limite) soit une vitesse de 6 m.s^{-1}.





Exercice 2

Référentiel : terrestre ; système : la particule



1) *forces appliquées à une particule en train de se déposer*

Bilan des forces :

$\vec{P}$, le poids de la goutte d'eau de valeur : $P = m \times g = \rho_a.V.g$

$\vec{f}$, la force de frottement de valeur : $f = k.v$

$\vec{\Pi}$, la poussée d'Archimède de valeur : $\Pi = \rho_e.V.g$

2) *D'après la seconde loi de Newton* $\sum \overrightarrow{F_{ext}} = m \times \vec{a} \Rightarrow \vec{P} + \vec{f} + \vec{\Pi} = m \times \vec{a}$

$\vec{P}\{P_y = P = \rho_a.V.g$; $\vec{f}\{f_y = -f = -k \times v$; $\vec{\Pi}\{\Pi_y = -\Pi = -\rho_e.V.g$

$$\vec{P} + \vec{f} + \vec{\Pi} = m \times \vec{a} \Rightarrow \rho_a V g - kv - \rho_e.V.g = \rho_a.V\frac{dv}{dt}$$

$$\rho_a.V\frac{dv}{dt} + kv = Vg(\rho_a - \rho_e)$$

$$\frac{dv}{dt} + \frac{k}{\rho_a V}v = \frac{g}{\rho_a}(\rho_a - \rho_e) = g\left(1 - \frac{\rho_e}{\rho_a}\right)$$

$$\boxed{\frac{dv}{dt} + \frac{k}{\rho_a V}v = g\left(1 - \frac{\rho_e}{\rho_a}\right)}$$

3) *Vitesse limite* : Lorsque la vitesse limite est atteinte : $\frac{dv_{lim}}{dt} = 0$

$$\frac{dv}{dt} + \frac{k}{\rho_a V}v = g\left(1 - \frac{\rho_e}{\rho_a}\right) \Rightarrow \frac{k}{\rho_a V}v_{lim} = g\left(1 - \frac{\rho_e}{\rho_a}\right) \Rightarrow v_{lim} = \frac{g\rho_a V}{k}\left(1 - \frac{\rho_e}{\rho_a}\right)$$

$v_{lim} = \frac{gV}{k}(\rho_a - \rho_e) = \frac{10 \times 3{,}4.10^{-11}}{3{,}8.10^{-6}} \times (1600 - 1000) =$ **0,054 m.s⁻¹**

4) *Temps caractéristique τ de la chute* : $\tau = \frac{\rho_a V}{k} = \frac{1600 \times 3{,}4.10^{-11}}{3{,}8.10^{-6}} =$ **$0{,}014$ s**

5) *Régime permanent atteint*

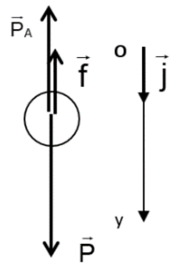
On estime que le régime permanent est atteint lorsqu'il s'est écoulé une durée égale à $5\tau = 5 \times 0{,}014$=**0,07 s**

Cette durée est extrêmement faible : on peut donc dire que la particule atteint sa vitesse limite dès son départ

La vitesse est donc constante dès le départ : on peut déterminer la durée pour atteindre le fond par la formule :

$$v = \frac{h}{\Delta t} \rightarrow \Delta t = \frac{h}{v_{lim}} = \frac{1{,}20}{0{,}054} = \mathbf{22s}$$

Exercice 3



1) Mesure de la viscosité de la glycérine

1.1. Voir schéma.

1.2. *Poids de la bille :* $P = m \times g = \rho \times V \times g$

1.3. *Poussée d'Archimède :* $P_A = \rho_{\text{glycérine}} \times V_{\text{immergé}} \times g = \rho_0 \times V \times g$

1.4. La vitesse limite est atteinte avant le passage au niveau de R_1. Entre les deux repères R_1 et R_2, le vecteur vitesse $\vec{v}$ de la bille est donc constant (norme v = v_{lim} , direction selon l'axe Oy et sens celui de $\vec{j}$). La bille a un mouvement rectiligne et uniforme

➥ La première loi de Newton (principe d'inertie) indique que les forces se compensent.

Alors $\Sigma\vec{F}_{ext} = \vec{0}$ $\boxed{\vec{P} + \vec{P}_A + \vec{f} = \vec{0}}$

1.5. *Expression de la viscosité*

$$\overrightarrow{P}\left\{P_y = P = \rho V g \quad ; \quad \overrightarrow{P_A}\left\{P_{Ay} = -P_A = -\rho_0 V g \quad ; \quad \overrightarrow{f}\left\{f_y = -f = -6\pi\eta r v_{\lim}\right.\right.\right.$$

$$\vec{P} + \vec{P}_A + \vec{f} = \vec{0}$$

$$\rho V g - \rho_0 V g - 6\pi\eta r v_{\lim} = 0 \rightarrow \rho V g - \rho_0 V g = 6\pi\eta r v_{\lim}$$

$$\eta = \frac{Vg(\rho - \rho_0)}{6\pi r v_{\lim}} = \frac{\frac{4}{3}\pi r^3 g(\rho - \rho_0)}{6\pi r v_{\lim}} = \frac{4\pi r^3 g(\rho - \rho_0)}{3 \times 6\pi r v_{\lim}} = \frac{2r^2 g(\rho - \rho_0)}{9 v_{\lim}}$$

1.6. *Calcul de la viscosité*

$$v_{\lim} = \frac{h}{\Delta t'} = \frac{0,4}{1,66} = \mathbf{0,24\ m.s^{-1}}$$

$$\eta = \frac{2r^2 g(\rho - \rho_0)}{9 v_{\lim}} = \frac{2 \times 0,005^2 \times 9,81 \times \left(7,8.10^3 - 1,3.10^3\right)}{9 \times 0,24} = \mathbf{1,48\ kg.m^{-1}.s^{-1}}$$

2) Étude théorique du mouvement de la bille

2.1. *Equation différentielle :* On applique la deuxième loi de Newton à la bille, de masse m, dans le référentiel du laboratoire, supposé galiléen : $\Sigma\overrightarrow{F_{ext}} = m.\vec{a} \Leftrightarrow \vec{P} + \vec{P}_A + \vec{f} = m.\vec{a}$

Après projection on a

$$\rho V g - \rho_0 V g - kv = m\frac{dv}{dt} \text{ ➥ } m\frac{dv}{dt} + kv = Vg(\rho - \rho_0) \text{ ➥ } \frac{dv}{dt} + \frac{k}{m}v = \frac{Vg}{m}(\rho - \rho_0)$$

Or $m = \rho \times V$ ➥ $\frac{dv}{dt} + \frac{k}{\rho V}v = \frac{Vg}{\rho V}(\rho - \rho_0)$ ➥ $\boxed{\frac{dv}{dt} + \frac{k}{\rho V}v = g\left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right)}$

On a bien une équation sous la forme $\boxed{\frac{dv}{dt} + Av = B}$ avec $\boxed{A = \frac{K}{\rho V}}$ et $\boxed{B = g\left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right)}$

2.2. *Valeurs des constantes*

$$A = \frac{k}{\rho V} = \frac{0,14}{7,8.10^3 \times 5,2.10^{-7}} = \mathbf{34,5\ s^{-1}}$$

$$B = g\left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) = 9,81 \times \left(1 - \frac{1,3.10^3}{7,8.10^3}\right) = \mathbf{8,18\ m.s^{-2}}$$

2.3. *Vitesse limite atteinte par la bille :*

Lorsque la bille atteint sa vitesse limite on a v = cte = v_{lim} $\Rightarrow \frac{dv}{dt} = 0$

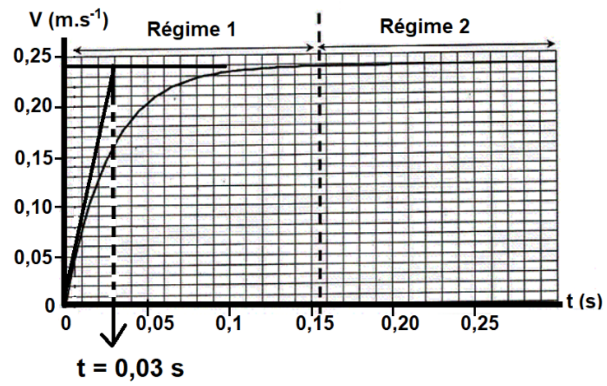
$$\frac{dv_{lim}}{dt} + Av_{lim} = B \rightarrow Av_{lim} = B \rightarrow v_{lim} = \frac{B}{A} = \frac{8,18}{34,5} = \mathbf{0,24\ m.s^{-1}}$$

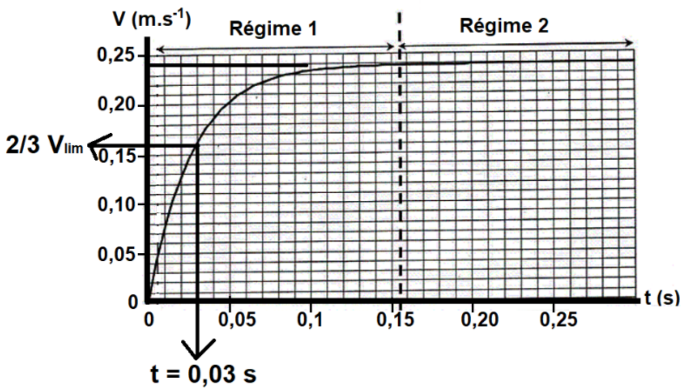
On retrouve la valeur de la vitesse limite déterminée dans la 1ère partie

2.4. Le rapport 1/A s'exprime en s (car A s'exprime en s^{-1}). Donc 1/A est homogène à une durée : 1/A correspond à la durée caractéristique τ de chute de la bille dans la glycérine.

2.5 . Le régime 1 est le régime transitoire et le régime 2 est le régime permanent

1ère méthode :	2nde méthode :
On trace la tangente à l'origine du graphe. Cette tangente coupe la droite horizontale d'ordonnée v_{lim} = 0,24 m.s^{-1} au point d'abscisse t = 0,03 s. Cette valeur correspond à la durée caractéristique t	On cherche l'abscisse du point qui a pour ordonnée 2/3 de la vitesse limite (67% de la vitesse limite) soit une vitesse de 0,16 m.s^{-1}.





Exercice 4

1. *Valeur E du champ électrostatique qui règne entre les deux électrodes :*

$$E = \frac{U}{d} = \frac{11,8}{0,041} = \mathbf{288\ V \cdot m^{-1}}$$

2. *Expression de la force électrostatique subie par un ion de charge q placé dans un champ électrique $\vec{E}$*

$$\overrightarrow{F_{el}} = q\vec{E}$$

3. *Relation entre les valeurs F_{el} et f des forces qui s'exercent sur chaque ion*

Puisque la vitesse limite est atteinte, les forces exercées sur un ion se compensent et donc :

$$\overrightarrow{F_{el}} + \vec{f} = \vec{0} \Rightarrow F_{el} = f$$

4. *Expression du rayon R en fonction de e (charge élémentaire), η, E et v.*

$F_{el} = f \Leftrightarrow qE = 6\pi\eta Rv$

$$\boldsymbol{R = \frac{|q|E}{6\pi\eta v}}$$

5. *Valeur de R*

$q = -e = -1{,}60 \times 10^{-19}\ \mathrm{C}$

La photo montre qu'en 29 min il a parcouru 9mm donc sa vitesse limite vaut :

$$v = \frac{d}{\Delta t} = \frac{0{,}009}{1680} = \boldsymbol{5 \times 10^{-6}\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}}$$

D'où son rayon :

$$R = \frac{1{,}6 \times 10^{-19} \times 288}{6\pi \times 1{,}0 \times 10^{-3} \times 5 \times 10^{-6}} = \boldsymbol{5 \times 10^{-10}\ \mathrm{m}}$$

Exercice 5

1. *Pourquoi est-il nécessaire d'ioniser les protéines à analyser ?*

Seul un corps chargé est mis en mouvement par un champ électrostatique.

2. *Nature du mouvement des ions en régime permanent*

C'est un mouvement rectiligne uniforme.

3. *Déplacement des ions*

$\overrightarrow{F_{el}} = q\vec{E}$ donc :

- un cation se déplace dans le sens de $\vec{E}$ c'est-à-dire vers l'électrode 2 (borne « - »)
- un anion se déplace dans le sens opposé de $\vec{E}$ c'est-à-dire vers l'électrode 1 (borne « + ») .

4. *Expression de la vitesse de migration en régime permanent*

En régime permanent les forces exercées se compensent, soit :

$\overrightarrow{F_{el}} + \vec{f} = \vec{0}$

$F_{el} = f$

$|q|E = krv$

$$\boldsymbol{v = \frac{|q|E}{kr}}$$

5. *Déplacement des ions*

D'après l'expression précédente, un ion se déplace d'autant plus vite que :

- sa charge électrique est élevée ;
- son rayon de Stokes est faible.

6.1. *Nombre de constituants séparés dans le mélange*

Il y a trois taches donc au moins trois constituants de charge et/ou rayons différents.

6.2. *Charge électrique des constituants*

On peut affirmer que le constituant de gauche porte une charge électrique positive. Les deux autres ayant migré dans le sens opposé au champ électrique, ils portent une charge négative.

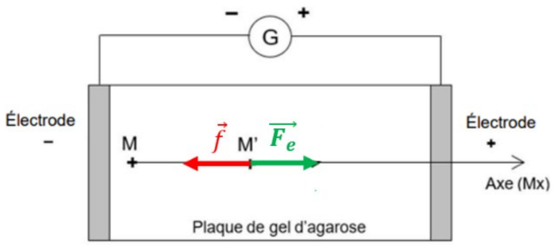
Exercice 6

Référentiel : terrestre ; *Système* : un acide aminé

BDF : la force électrostatique $\overrightarrow{F_e}$ et la force de frottements $\vec{f}$

(on néglige le poids de l'acide aminé devant les 2 autres forces)

PARTIE A – Principe de l'électrophorèse



A.1. *Représentation de $\vec{f}$*

La force $\vec{f}$ est opposée au déplacement, donc opposée à $\overrightarrow{F_e}$

A.2. *Seconde loi de Newton*

D'après la seconde loi de Newton, $\sum \vec{F} = m \times \vec{a}$

$\overrightarrow{F_e} + \vec{f} = m \times \vec{a}$

A.3. *Projection de la seconde loi*

$F_e - f = m \times a$

$$e \times E - k \times v = m \times \frac{dv}{dt}$$

$$e \times E = m \times \frac{dv}{dt} + k \times v$$

$$\boldsymbol{\frac{e \times E}{m} = \frac{dv}{dt} + \frac{k}{m} \times v}$$

PARTIE B – Étude du mouvement de l'ion d'acide aspartique

B.1. *Solution générale v de l'équation différentielle définie sur [0 ; +∞[*

$v' = -1{,}3 \times 10^{13}\ v + 3{,}9 \times 10^{8}$

$v' + 1{,}3 \times 10^{13} = 3{,}9 \times 10^{8}$

RAPPEL : La solution de l'équation différentielle $y' + a \times y = b$ est $y = k \times e^{-ax} + \frac{b}{a}$

La solution de l'équation différentielle est donc : $v = k \times e^{-1{,}3.10^{13}t} + \frac{3{,}9 \times 10^{8}}{1{,}3 \times 10^{13}}$

$$\boldsymbol{v = k \times e^{-1{,}3.10^{13}t} + 3 \times 10^{-5}}$$

B.2. v(0)=0

$$v(0) = k \times e^{-1{,}3.10^{13} \times 0} + 3 \times 10^{-5} = k + 3 \times 10^{-5} = 0$$

$$k = -3 \times 10^{-5}$$

$$v = -3 \times 10^{-5} \times e^{-1{,}3.10^{13}t} + 3 \times 10^{-5} = 3 \times 10^{-5}\left(-e^{-1{,}3.10^{13}t} + 1\right)$$

$$\boldsymbol{v(t) = 3 \times 10^{-5}(1 - e^{-1{,}3 \times 10^{13} t})}$$

B.3. *Valeur de la vitesse limite*

$$\lim_{t \to \infty} v(t) = 3 \times 10^{-5}(1 - e^{-1{,}3 \times 10^{13} \times \infty}) = 3 \times 10^{-5}(1 - 0) = 3 \times 10^{-5}$$

B.4. *Au bout de combien de temps, la valeur de la vitesse est de 90% de la vitesse limite*

Il faut calculer t lorsque $v = 0{,}9 \times v_{lim} = 0{,}9 \times 3.10^{-5} = 2{,}7.10^{-5}$ m/s

$2{,}7.10^{-5} = 3 \times 10^{-5}(1 - \mathrm{e}^{-1{,}3\times10^{13}\mathrm{t}})$

$\dfrac{2{,}7.10^{-5}}{3 \times 10^{-5}} = 1 - \mathrm{e}^{-1{,}3\times10^{13}\mathrm{t}}$

$\dfrac{2{,}7.10^{-5}}{3 \times 10^{-5}} = 1 - \mathrm{e}^{-1{,}3\times10^{13}\mathrm{t}}$

$0{,}9 = 1 - \mathrm{e}^{-1{,}3\times10^{13}\mathrm{t}}$

$\mathrm{e}^{-1{,}3\times10^{13}\mathrm{t}} = 1 - 0{,}9 = 0{,}1$

$ln\left(\mathrm{e}^{-1{,}3\times10^{13}\mathrm{t}}\right) = ln0{,}1$

$-1{,}3 \times 10^{13}\mathrm{t} = ln0{,}1$

$\mathrm{t} = \frac{ln0{,}1}{-1{,}3\times10^{13}} =$ **1,8.10⁻¹³ s**

PARTIE C – Détermination de la durée de migration

C.1. *Comparaison vitesse limite de migration des ions glutamate et des ions aspartate*

$$v_{lim} = \frac{e \times E}{k}$$

La valeur de v_{lim} dépend de la valeur de k

$k_{aspart} = 2{,}7\times10^{-12}$ N·s·m^{-1}

$k_{glutam} = 3{,}0\times10^{-12}$ N·s·m^{-1}

la valeur de k pour l'ion aspartate est légèrement inférieure à la valeur de k pour l'ion glutamate. Donc la vitesse limite de l'ion aspartate est légèrement supérieure à la vitesse limite de l'ion glutamate

C.2. *Durée minimale de l'électrophorèse*

Vitesse limite de l'ion aspartate :	Vitesse limite de l'ion glutamate :
$v_{lim} = \frac{e\times E}{k} = \frac{1{,}6.10^{-19}\times520}{2{,}7.10^{-12}}$ =**$3{,}1.10^{-5}$ m/s**	$v_{lim} = \frac{e\times E}{k} = \frac{1{,}6.10^{-19}\times520}{3.10^{-12}}$ =**$2{,}8.10^{-5}$ m/s**

Au bout d'une durée Δt	
les ions aspartate se sont déplacés d'une distance :	les ions glutamate se sont déplacés d'une distance :
$d_{asp} = v_{lim} \times \Delta t$ $d_{asp} = 3{,}1.10^{-5} \times \Delta t$	$d_{glu} = v_{lim} \times \Delta t$ $d_{glu} = 2{,}8.10^{-5} \times \Delta t$

On doit avoir $d_{asp} - d_{glu} = 5\ mm$ si on veut pouvoir 2 taches séparées

$3{,}1.10^{-5} \times \Delta t - 2{,}8.10^{-5} \times \Delta t = 5.10^{-3}$

$3.10^{-6}\Delta t = 5.10^{-3}$

$\Delta t = \frac{5.10^{-3}}{3.10^{-6}}$ =$1{,}7.10^{3}$ s soit une durée d'**environ 28 min**

Distance parcourue par les ions au bout de Δt = $1{,}7.10^3$ s	
les ions aspartate se sont déplacés d'une distance :	les ions glutamate se sont déplacés d'une distance :
$d_{asp} = 3{,}1.10^{-5} \times \Delta t = 3{,}1.10^{-5} \times 1{,}7.10^{3}$ = $5{,}3.10^{-2}$ m = **5,3 cm**	$d_{glu} = 2{,}8.10^{-5} \times \Delta t = 2{,}8.10^{-5} \times 1{,}7.10^{3}$ = $4{,}8.10^{-2}$ m = **4,8 cm**