

Exercice 1 : Propagation des ondes (/ 6 pts.)

Une très longue corde élastique inextensible est disposée horizontalement sur le sol. Un opérateur crée une perturbation en imprimant une brève secousse **verticale** à l'extrémité S de la corde (figure 1).

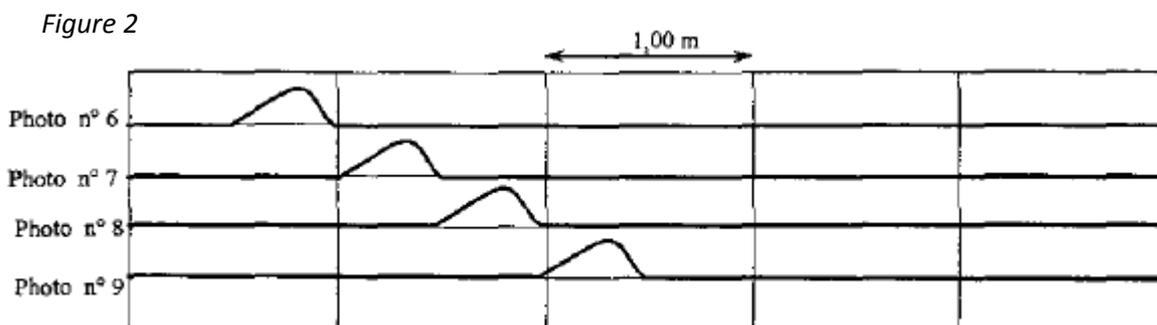


1. Considérations générales

- 1.1. Préciser la direction de propagation de l'onde et la direction du mouvement du point M.
- 1.2. En déduire si l'onde est transversale ou longitudinale.

2. Étude chronophotographique

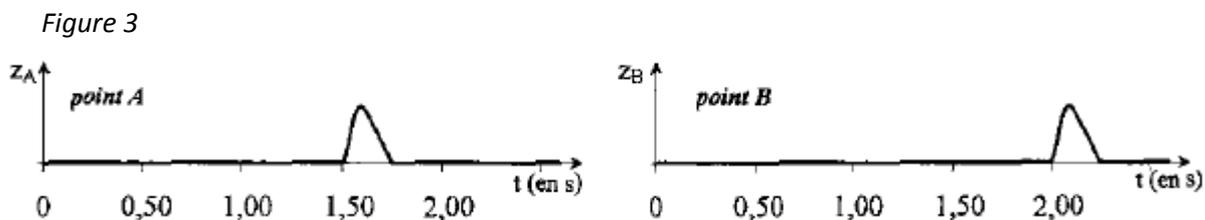
La propagation de l'onde le long de la corde est étudiée par chronophotographie (figure 2). L'intervalle de temps séparant deux photos consécutives est $\Delta t = 0,25$ s.



- 2.1. Définir puis calculer la célérité de l'onde.
- 2.2. Pendant quelle durée un point de la corde est-il en mouvement ?

3. Évolution temporelle du déplacement vertical de plusieurs points de la corde

L'évolution au cours du temps des altitudes z_A et z_B de deux points A et B de la corde est l'objet de la figure 3. L'instant de date $t_0 = 0$ s correspond au début du mouvement de S. Toutes les réponses doivent être justifiées.



- 3.1. Lequel de ces deux points est touché le premier par la perturbation ?
 - 3.2. Lequel de ces deux points est situé le plus près du point source S de la corde ?
 - 3.3. Quel retard le point touché en second présente-t-il dans son mouvement par rapport au point touché en premier ?
 - 3.4. Quelle est la valeur de la distance séparant les points A et B ?
 - 3.5. Un troisième point C commence son mouvement à l'instant de date $t_C = 0,50$ s. Préciser sa position par rapport à A.
- Représenter sur un schéma la position des points A, B et C (échelle 2 cm pour 1 m) par rapport au point source S (corde au repos).

4. Influence de quelques paramètres sur la célérité de l'onde

Les courbes ci-dessous (figures 4, 5 et 6) donnent l'évolution au cours du temps du déplacement vertical d'un point K d'une corde situé à la distance fixe $d = SK$ du point source S ; l'instant de date $t_0 = 0$ s correspond au début du mouvement de S ; les conditions expérimentales sont précisées pour chaque expérience.

Toutes les réponses doivent être justifiées en utilisant les représentations graphiques.

On étudie successivement l'influence de :

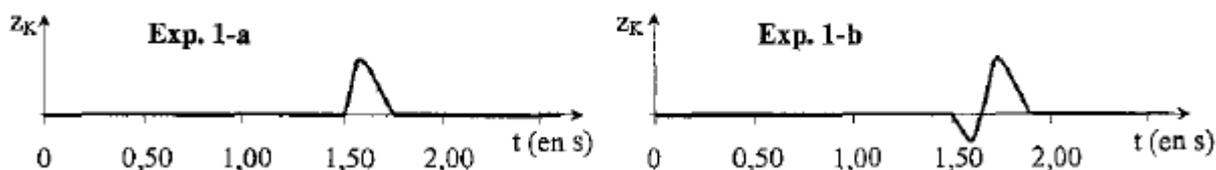
- la forme de la perturbation ;
- la tension de la corde ;
- la nature de la corde.

4.1. Influence de la forme de la perturbation.

La même corde est utilisée : sa tension est la même dans les deux expériences.

La forme de la perturbation modifie-t-elle la célérité ?

fig. 4

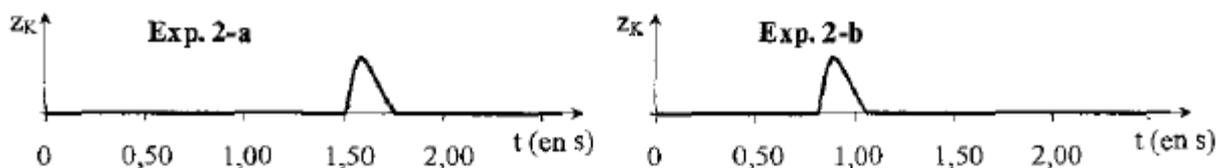


4.2. Influence de la tension de la corde

La même corde est utilisée ; lors de l'expérience 2-a, sa tension est plus faible que lors de l'expérience 2-b.

La tension de la corde modifie-t-elle la célérité et si oui, dans quel sens ?

fig. 5



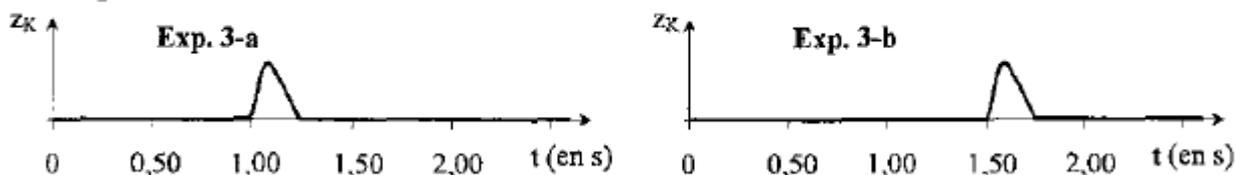
4.3. Influence de la nature de la corde.

Rappel : la masse linéique μ est la masse par unité de longueur ; pour une corde de masse M et de longueur L, on a donc : $\mu = \frac{M}{L}$

La tension est la même dans les deux expériences ; la masse linéique de la corde utilisée pour l'expérience 3-a est plus faible que celle de la corde utilisée pour l'expérience 3-b.

La masse linéique de la corde modifie-t-elle la célérité et si oui, dans quel sens ?

fig. 6



Exercice 2 : Mesure de la vitesse du son émis par un haut-parleur (/ 5 pts.)

Le signal électrique obtenu avec le circuit oscillant précédent est amplifié puis transformé en onde sonore par le haut-parleur.

Pour mesurer la vitesse du son émis par le haut-parleur à la température de la salle, on réalise l'expérience schématisée sur la figure 8 ci-dessous.

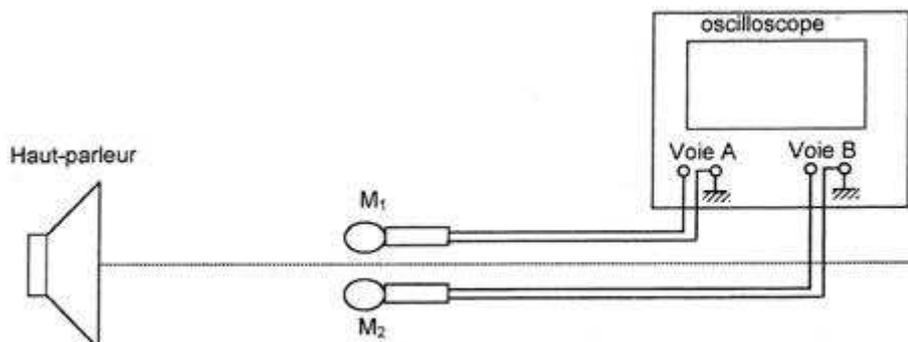


Figure 8

On place côte à côte face au haut-parleur, deux microphones M_1 et M_2 branchés sur les voies A et B d'un oscilloscope.

Les courbes observées sur l'écran de l'oscilloscope sont représentées sur la figure 9 ci-dessous.

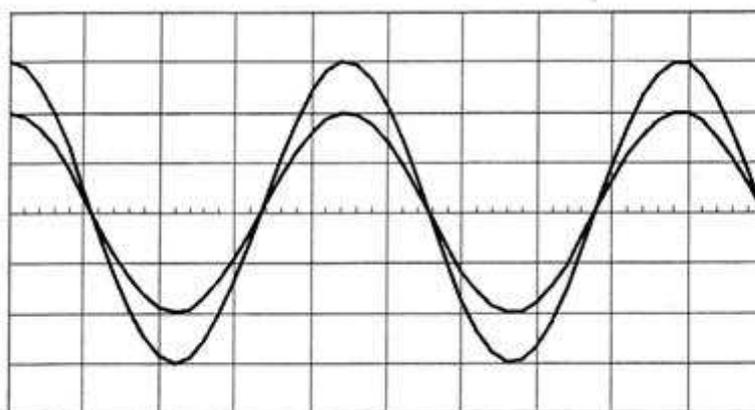


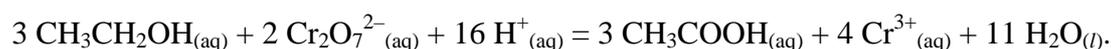
Figure 9

Les deux voies de l'oscilloscope ne sont pas réglées sur la même sensibilité verticale.

1. Quelle est la nature de l'onde sonore émise par le haut-parleur ?
2. Cette onde sonore est dite longitudinale. Expliquer cette appellation.
3. Les courbes observées sur l'écran de l'oscilloscope sont en phase. On laisse le microphone M_1 en place et on déplace lentement et parallèlement à l'axe du haut-parleur le microphone M_2 jusqu'à obtenir à nouveau les deux courbes en phase. La distance qui sépare les deux microphones dans cette nouvelle position est $d = 1,50$ m.
 - 3.1. Définir la longueur d'onde d'une onde périodique.
 - 3.2. Que représente alors la distance d dans cette expérience ?
 - 3.3. Sachant que la fréquence de l'onde sonore émise par le haut-parleur est $f = 225$ Hz, calculer la vitesse de propagation du son dans l'air.

Exercice 3 : Test d'alcoolémie (/ 8 pts.)

Pour mesurer la quantité d'alcool dans le sang, on réalise un prélèvement puis, par un procédé non indiqué ici, on décolore le sang. On dose alors la quantité d'alcool présente dans le sang à partir de la réaction chimique suivante :



1.- A l'aide des couples oxydant / réducteur :

$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} (\text{aq}) / \text{Cr}^{3+} (\text{aq})$ et $\text{CH}_3\text{COOH} (\text{aq}) / \text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} (\text{aq})$, établir cette équation.

Cette réaction est lente, son évolution est suivie par spectrophotométrie.

Données :

- Masse molaire moléculaire de l'éthanol : 46 g.mol^{-1} .
- Couleurs des espèces chimiques en présence :

Espèces chimiques	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$	Cr^{3+}	CH_3COOH
Couleur en solution aqueuse	incolore	jaune orangé	vert	incolore

2. Choix de la méthode de suivi.

2.1. Expliquer pourquoi cette réaction chimique peut être suivie par spectrophotométrie.

2.2. Pourquoi cette méthode peut-elle être qualifiée de « non-destructive » ?

3. Suivi temporel.

On désire suivre la présence des ions dichromate $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$.

On réalise les réglages préalables de l'appareil :

- on sélectionne la longueur d'onde $\lambda = 420 \text{ nm}$;

- on réalise « le blanc » avec une solution aqueuse contenant l'ion chrome Cr^{3+} . Les ions dichromate et chrome n'absorbent pas dans le même domaine de longueur d'onde.

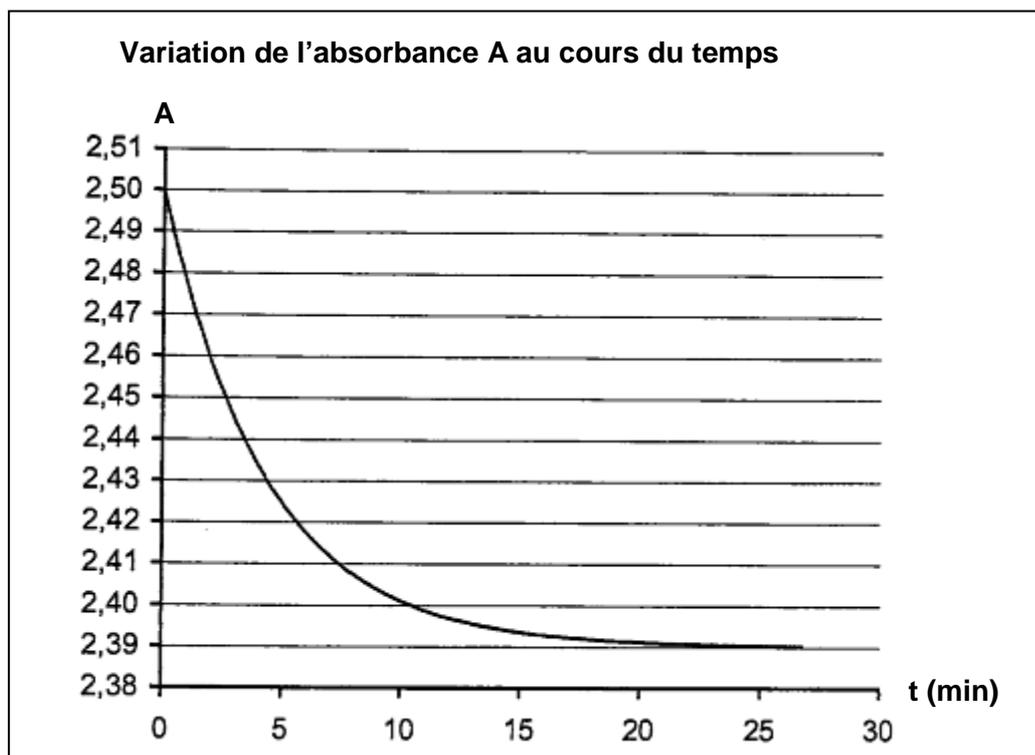
À la date $t = 0$, on mélange 2,0 mL de sang prélevé au bras d'un conducteur avec 10,0 mL d'une solution aqueuse acidifiée de dichromate de potassium ($2\text{K}^+ + \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) de concentration molaire $c = [\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}] = 2,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$. Le volume total du mélange réactionnel est $V = 12,0 \text{ mL}$.

On agite et on place rapidement un prélèvement du mélange réactionnel dans une cuve du spectrophotomètre.

Le prélèvement dans la cuve évolue de la même façon que le mélange réactionnel.

Le spectrophotomètre est connecté à un ordinateur, il mesure l'absorbance A du mélange réactionnel au cours du temps.

On obtient l'enregistrement page suivante.



3.1. D'une manière générale, sur quel critère sélectionne-t-on la longueur d'onde pour effectuer un suivi spectrophotométrique ? De quels paramètres dépend la longueur d'onde choisie ?

3.2. Établir le tableau d'avancement du système en désignant par n_0 la quantité de matière initiale d'alcool présente dans les 2,0 mL de sang, et par n_1 la quantité de matière initiale en ions dichromate introduite dans le mélange réactionnel.

N.B. : dans les conditions de l'expérience, l'ion H^+ est en excès. On ne renseignera donc pas la colonne relative à cet ion dans le tableau d'avancement.

3.3. Quelle relation existe-t-il entre l'avancement x de la réaction, la concentration en ions dichromate $[Cr_2O_7^{2-}]$ dans le mélange, le volume V du mélange réactionnel, et la quantité n_1 ?

3.4. L'absorbance A est liée à la concentration $[Cr_2O_7^{2-}]$ (en $mol.L^{-1}$) par la relation :

$$A = 150 [Cr_2O_7^{2-}] \quad (\text{pour } \lambda = 420 \text{ nm})$$

Déduire de la relation établie en 2.3. que l'avancement x est lié à l'absorbance A par la relation :

$$x = (10 - 4.A).10^{-5} \quad (\text{mol})$$

3.5. La réaction peut être considérée comme totale. À l'aide du graphique $A = f(t)$, calculer l'avancement maximal. En déduire que le réactif limitant est l'éthanol.

3.6. Définir puis calculer le temps de demi-réaction $t_{1/2}$.

3.7. Le taux autorisé d'alcool est de 0,5 g dans 1 L de sang.
Le conducteur est-il en infraction ?

3.8. Comment serait modifiée la valeur de $t_{1/2}$ si on augmentait la concentration en ions dichromate ? si on augmentait la température ? Justifier.

3.9. Expliquer l'influence de la concentration en réactif et de la température au niveau microscopique à l'aide de la théorie des collisions.

Correction du D.S. n°1

Exercice 1 :

1. Considérations générales

1.1 La direction de **propagation de l'onde** est **l'horizontale**. La direction du **mouvement du point M** est **la verticale**.

1.2 Comme la direction de propagation de l'onde est perpendiculaire à la direction du mouvement du point M, **l'onde est transversale**.

2. Étude chronophotographique

2.1 Considérons l'axe horizontal (S_x) d'origine S.

La célérité V de l'onde est le rapport de la distance $MM' = x_{M'} - x_M$ parcourue par l'onde entre les points

M et M' sur la durée de propagation de l'onde, $t' - t$:
$$V = \frac{x_{M'} - x_M}{t' - t}$$

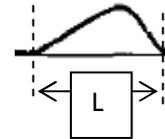
Entre les photos n°6 et n°8 le front de l'onde parcourt la distance $x_{M'} - x_M = 1,00 \text{ m}$ pendant la durée

$t' - t = 2 \cdot \Delta t = 0,50 \text{ s}$. Donc $V = \frac{1,00}{0,50} = 2,0 \text{ m.s}^{-1}$.

2.2 : Soit θ la durée pendant laquelle un point de la corde est en mouvement (en s).

Soit L la longueur de la perturbation (en m). (voir ci-contre)

Alors la durée θ est liée à L et V par la relation :
$$\theta = \frac{L}{V}$$



Graphiquement, on lit : $L = 0,50 \text{ m}$ et avec $V = 2,0 \text{ m.s}^{-1}$ il vient : $\theta = \frac{0,50}{2,0} = 0,25 \text{ s}$.

3. Évolution temporelle du déplacement vertical de plusieurs points de la corde

3.1 Graphiquement on constate que l'altitude z_A du point A est non nulle entre les instants de date $1,50 \text{ s}$ et $1,75 \text{ s}$ alors que l'altitude z_B du point B est non nulle pour des instants de date plus grandes $2,00 \text{ s}$ et $2,25 \text{ s}$.

Donc **le premier point** atteint par la perturbation est **le point A**.

3.2 Le front de l'onde atteint le **point A** d'abscisse x_A à la date $t_A = 1,50 \text{ s}$.

Le front de l'onde atteint le **point B** d'abscisse x_B à la date $t_B = 2,00 \text{ s}$.

L'instant de date $t_0 = 0 \text{ s}$ correspond au début du mouvement de S en $x_S = 0,0 \text{ m}$.

On a donc : $V = \frac{x_A - x_S}{t_A - t_0}$ donc $x_A = V \cdot t_A$ $x_A = 2,0 \times 1,50 = 3,0 \text{ m}$

De même pour le point B : $x_B = V \cdot t_B$ $x_B = 2,0 \times 2,00 = 4,0 \text{ m}$

Le point le plus près du point source S est le point A car $x_A < x_B$.

3.3 Le retard τ que présente le point B dans son mouvement par rapport au point A est : $\tau = t_B - t_A$

$$\tau = 2,00 - 1,50 = \mathbf{0,50 \text{ s.}}$$

3.4 Pendant la durée τ , le front de l'onde parcourt une distance égale à la distance $\mathbf{AB} = x_B - x_A$ séparant les points A et B, à la célérité constante $V = 2,0 \text{ m.s}^{-1}$. On a donc : $\boxed{x_B - x_A = V \cdot \tau}$

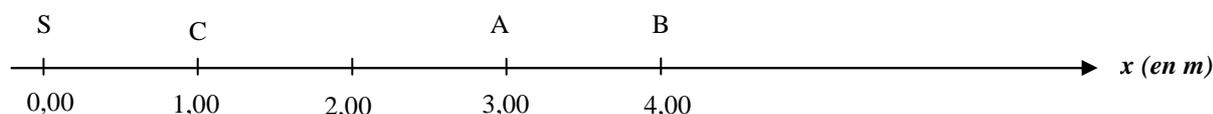
$$x_B - x_A = 2,0 \times 0,50 = \mathbf{1,0 \text{ m.}}$$

3.5. Le front de l'onde atteint le point C d'abscisse x_C à la date $t_C = \mathbf{0,50 \text{ s}}$. La célérité de l'onde étant constante, on peut écrire, entre les point A et C :

$$V = \frac{x_C - x_A}{t_C - t_A} \text{ soit } \boxed{x_C - x_A = V \cdot (t_C - t_A)} \quad x_C - x_A = 2,0 \times (0,50 - 1,50) = \mathbf{- 2,0 \text{ m.}}$$

Comme $x_C - x_A$ est négatif, **le point C est situé 2,0 m avant le point A.**

Schéma :



4. Influence de quelques paramètres sur la célérité de l'onde

4.1 Influence de la forme de la perturbation

- Conditions :**
- même corde
 - même tension
 - forme de la perturbation différente

On constate graphiquement que le front de chaque onde arrive au point K, au même instant de date $t = 1,50 \text{ s}$. La même distance est donc parcourue pendant la même durée.

La forme de la perturbation ne modifie donc pas la célérité de l'onde.

4.2 Influence de la tension de la corde

- Conditions :**
- même corde
 - tension différente
 - même forme de la perturbation

On constate graphiquement que :

- le front de l'onde de l'expérience 2-a arrive au point K à l'instant de date $t_{2a} = 1,50 \text{ s}$.
- le front de l'onde de l'expérience 2-b arrive au point K à l'instant de date $t_{2b} = 0,80 \text{ s}$.

L'onde atteint le point K plus rapidement dans l'expérience 2-b que dans l'expérience 2-a. La célérité de l'onde est plus grande dans l'expérience 2-b que dans l'expérience 2-a.

Donc la tension de la corde modifie la célérité de l'onde.

D'autre part, la tension de la corde est plus grande dans l'expérience 2-b que dans l'expérience 2-a.

Plus la tension de la corde est grande, plus la célérité de l'onde est grande.

4.3 Influence de la nature de la corde

- Conditions :**
- cordes différentes (masse linéique différente)
 - même tension

- même forme de la perturbation

On constate graphiquement que :

- le front de l'onde de l'expérience 3-a arrive au point K à l'instant de date $t_{3a} = 1,00$ s .
- le front de l'onde de l'expérience 3-b arrive au point K à l'instant de date $t_{3b} = 1,50$ s .

L'onde atteint le point K plus rapidement dans l'expérience 3-a que dans l'expérience 3-b. La célérité de l'onde est plus grande dans l'expérience 3-a que dans l'expérience 3-b.

La masse linéique de la corde modifie la célérité de l'onde.

D'autre part, la masse linéique de la corde est plus faible dans l'expérience 3-a que dans l'expérience 3-b.

Plus la masse linéique de la corde est grande, plus petite est la célérité de l'onde.

Exercice 2 :

1. Une onde sonore est une onde mécanique périodique progressive.

2. L'onde est longitudinale lorsque la direction de la perturbation est la même que la direction de propagation de l'onde.

3.1. La longueur d'onde λ est la distance parcourue par l'onde pendant une durée égale à la période T. Elle s'exprime en mètres.

3.2. Deux points consécutifs du milieu, dans le même état vibratoire sont situés à une distance égale à la longueur d'onde, soit $d = \lambda$.

3.3. $\lambda = v/f$ soit $v = \lambda.f$

$$v = 1,50 \times 225$$

$v = 338 \text{ m.s}^{-1}$ célérité du son dans l'air.

Exercice 3 :

1.- Voir cours.

2.Choix de la méthode de suivi

2.1. L'ion dichromate ainsi que l'ion chrome (III) colorent la solution. Cette coloration de la solution va donc changer en fonction de l'apparition des ions chrome (III) et/ou la disparition des ions chromate. La réaction pourra donc être suivie par spectrophotométrie.

2.2. La spectrophotométrie est une méthode de mesure non-destructive car le système chimique n'est pas modifié par le passage de la lumière au cours de la mesure.

3. Suivi temporel

3.1. On sélectionne la longueur d'onde qui correspond au maximum d'absorption de l'espèce chimique étudiée. Cette longueur d'onde ne dépend que de la nature de l'espèce colorée.

3.2. Équation	$3 \text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}_{(aq)} + 2 \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}_{(aq)} + 16\text{H}^+_{(aq)} = 3\text{CH}_3\text{COOH}_{(aq)} + 4 \text{Cr}^{3+}_{(aq)} + 11 \text{H}_2\text{O}_{(l)}$					
État initial	n_0	n_1	Excès	0	0	Beaucoup
État intermédiaire	$n_0 - 3x$	$n_1 - 2x$	Excès	$3x$	$4x$	Beaucoup
État final	$n_0 - 3x_{\text{éq}}$	$n_1 - 2x_{\text{éq}}$	Excès	$3x_{\text{éq}}$	$4x_{\text{éq}}$	Beaucoup

$$3.3. [\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}_{(aq)}] = \frac{n(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}_{(aq)})}{V} = \frac{n_1 - 2x}{V}$$

$$[\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}(\text{aq})] \cdot V = n_1 - 2x \quad \text{donc} \quad x = \frac{1}{2} \cdot (n_1 - [\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}(\text{aq})] \cdot V)$$

3.4. $A = 150$. $[\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}(\text{aq})]$ donc $[\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}(\text{aq})] = \frac{A}{150}$

$$x = \frac{1}{2} \cdot (n_1 - \frac{A}{150} \cdot V) = \frac{1}{2} \cdot (c \cdot V' - \frac{A}{150} \cdot V) \quad \text{avec } V' = 10 \text{ mL} = 10 \times 10^{-3} \text{ L}$$

$$x = \frac{1}{2} \cdot (2,0 \cdot 10^{-2} \times 10 \times 10^{-3} - \frac{A}{150} \times 12 \times 10^{-3}) = \frac{1}{2} (20 \times 10^{-5} - 8,0 \times 10^{-5} \times A) = (10 - 4A) \cdot 10^{-5} \text{ mol}$$

3.5. Lorsque l'absorbance n'évolue plus c'est que $[\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}]$ n'évolue plus.

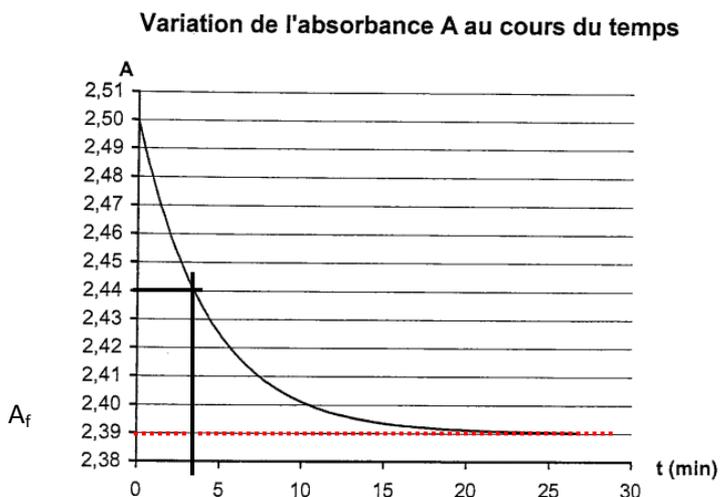
L'avancement est alors maximal, car la transformation est totale.

Graphiquement pour $x = x_{\text{max}}$, on a $A_f = 2,39$.

$$x_{\text{max}} = (10 - 4 \cdot A_f) \cdot 10^{-5}$$

$$x_{\text{max}} = (10 - 4 \times 2,39) \times 10^{-5} = 4,4 \times 10^{-6} \text{ mol.}$$

Si l'éthanol est en limitant, cela signifie que les ions dichromate sont en excès. Donc en fin de réaction, il resterait des $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$.



Vérifions cette hypothèse :

$$n(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-})_{\text{finale}} = n_1 - 2x_{\text{max}}$$

$$n(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-})_{\text{finale}} = c \cdot V' - 2x_{\text{max}}$$

$$n(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-})_{\text{finale}} = 2,0 \cdot 10^{-2} \times 10 \times 10^{-3} - 2 \times 4,4 \times 10^{-6}$$

$n(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-})_{\text{finale}} \neq 0$, l'ion dichromate est en excès, l'éthanol est limitant.

3.6. On a : $x(t_{1/2}) = x_{\text{max}} / 2 = 2,2 \cdot 10^{-6} \text{ mol}$

Cela correspond à $A = 2,44$. Graphiquement, on trouve : $t_{1/2} \approx 3,2 \text{ min}$

3.7. L'éthanol est totalement consommé, soit $n_0 - 3x_{\text{max}} = 0$.

Donc $n_0 = 3x_{\text{max}}$, quantité de matière contenue dans 2,0 mL de sang.

$$\text{Dans } 1,0 \text{ L de sang la quantité de matière d'éthanol est } n = n_0 \times \frac{1,0}{2,0 \times 10^{-3}} = 3x_{\text{max}} \cdot \frac{1,0}{2,0 \times 10^{-3}}$$

$$\text{Alors la masse d'éthanol est } m = n \cdot M = 3 \times 4,4 \times 10^{-6} \times \frac{1,0}{2,0 \times 10^{-3}} \times 46 = 0,30 \text{ g pour un litre de sang. Le}$$

conducteur n'est pas en infraction puisque cette alcoolémie est inférieure à 0,5 g/L.

3.8. et **3.9.** Voir cours