

Exercice 1 : le tube cathodique – 20 pts – durée indicative : 1 H

Les écrans d'ordinateur et de téléviseurs utilisaient jusqu'au début du 21^e siècle un dispositif d'affichage appelé tube cathodique.

Les rayons cathodiques sont des flux d'électrons à haute vitesse provenant d'un dispositif appelé « canon à électrons » constitué d'une cathode, un tube avec, à l'intérieur, un filament chauffé qui génère l'émission d'électrons. Le rayon qui sort du canon à électrons est ensuite dévié, soit magnétiquement par des bobines (comme pour un tube de téléviseur), soit de façon électrostatique par des électrodes (dans la plupart des oscilloscopes et des écrans d'ordinateur). C'est ce mécanisme de déflexion qui réalise le balayage horizontal et vertical (lignes et trames).

La vitre du tube cathodique est recouverte d'une fine couche d'éléments phosphorescents, appelés luminophores, émettant de la lumière par excitation lorsque les électrons viennent les heurter, ce qui constitue un point lumineux appelé pixel.

Le tube cathodique d'un écran d'ordinateur de type CRT (*cathode ray tube*) comprend donc deux dispositifs principaux :

- un « canon à électrons » afin d'accélérer des électrons d'une vitesse initiale considérée comme nulle jusqu'à une vitesse v_0 .
- Une chambre de déflexion électrostatique des électrons.

La pression du gaz qui remplit l'ensemble du tube cathodique est suffisamment faible pour que l'on considère que l'électron se déplace dans le vide.



Tube cathodique

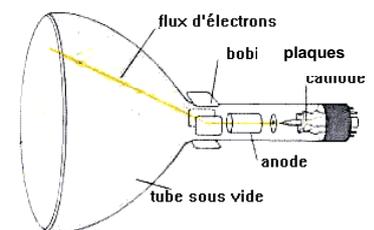


Schéma simplifié d'un tube cathodique

1. Etude du canon à électrons.

Le canon à électrons peut être modélisé par un condensateur plan dont les plaques sont des grilles permettant ainsi le passage des électrons. L'une des grilles, appelée cathode, est chargée négativement. L'autre grille, appelée anode, est chargée positivement.

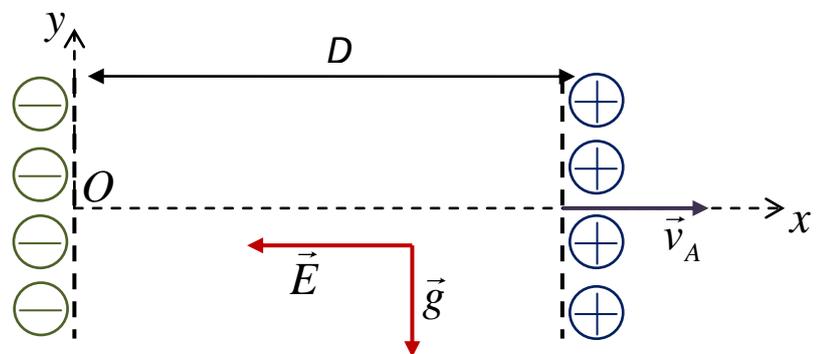
La tension $U = 1,2 \cdot 10^4$ V entre les deux plaques distantes de $D = 10,0$ cm est telle que le champ électrique créé a pour valeur :

$$E = \frac{U}{D}$$

Le champ électrique entre les plaques est supposé uniforme, ainsi que le champ de pesanteur à l'endroit considéré, qui vaut $9,81$ N.kg⁻¹.

On considère un électron de masse $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg et de charge $q = -e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ C, initialement placé à l'origine O du repère, avec une vitesse considérée comme nulle. Il arrive à l'anode avec une vitesse v_A .

Figure 1 : canon à électrons



1.1. Faire un bilan des forces extérieures qui s'exercent sur le système électron. **(1 pt)**

1.2. Montrer que l'une des forces est négligeable devant l'autre. **(1 pt)**

1.3. Exprimer le vecteur accélération de l'électron en fonction de \vec{E} , m et e . **(1,5 pts)**

1.4. Montrer que les équations horaires du mouvement de l'électron dans le repère de la figure 1 s'écrivent :

$$\begin{cases} x(t) = \frac{eE}{2m} \times t^2 \\ y(t) = 0 \end{cases} \quad \text{(2 pts)}$$

1.5. Exprimer la date t_0 à laquelle l'électron arrive au niveau de l'anode en fonction de U , D , m et e . (1 pt)

1.6. Montrer que la vitesse v_A de l'électron vaut $6,5 \cdot 10^7 \text{ m.s}^{-1}$. (1 pt)

2. Etude du dispositif de déflexion.

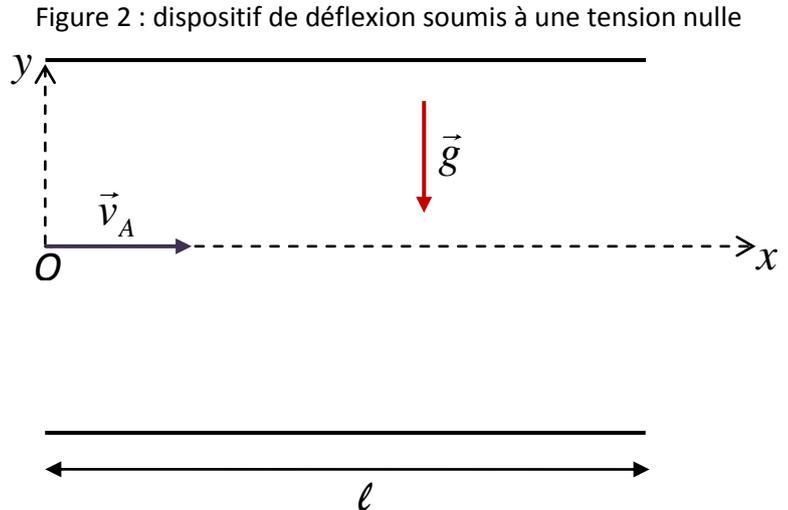
On considère maintenant le mouvement de l'électron, précédemment accéléré jusqu'à une vitesse v_A à la sortie du canon à électrons, entre les plaques horizontales d'un condensateur plan qui constitue la chambre de déflexion de longueur $\ell = 10,0 \text{ cm}$.

Les plaques sont distantes de $d = 2,0 \text{ cm}$. Dans un premier temps, la tension entre ces plaques est nulle, de sorte qu'aucun champ électrique n'existe entre ces plaques.

L'électron est donc en mouvement dans le seul champ de pesanteur.

On cherche dans la suite à déterminer si la déviation de l'électron due à la force de pesanteur est négligeable.

La situation est schématisée sur la figure 2.



2.1. Exprimer le vecteur accélération de l'électron. (1 pt)

2.2. En déduire les équations horaires du mouvement de l'électron dans le repère de la figure 2. (1 pt)

2.3. A quelle ordonnée y_S l'électron sort-il du condensateur lorsqu'il est en mouvement dans le champ de pesanteur ? (2 pts)

2.4. Peut-on négliger l'effet de la force de pesanteur ? (1 pt)

3. Impact de l'électron sur la vitre.

Les deux plaques du dispositif de déflexion sont maintenant chargées sous une différence de potentiel $U = 600 \text{ V}$, ce qui engendre un champ uniforme $E = 30,0 \text{ kV.m}^{-1}$ entre les plaques. La vitre (V) du tube cathodique est située à une distance $L = 25,0 \text{ cm}$ du centre O du repère représenté sur la figure 3 **de l'annexe à rendre avec la copie**, qui n'est pas à l'échelle.

3.1. Décrire qualitativement la trajectoire de l'électron entre les plaques, puis dans la zone séparant les plaques de la vitre. (1 pt)

3.2. Etablir l'équation de la trajectoire de l'électron entre les plaques du condensateur. (3 pts)

3.3. Représenter qualitativement la trajectoire de l'électron sur la figure 3 **de l'annexe à rendre avec la copie**. Placer le point S correspondant à la position de l'électron à la sortie du condensateur, et indiquer, sans souci d'échelle, le vecteur vitesse de l'électron au point S. (1 pt)

3.4. Déterminer le point d'impact I de l'électron sur la vitre (V). (2 pts)

3.5. Que faut-il changer au dispositif pour qu'un pixel situé sur le bas de la vitre s'illumine ? (0,5 pt)

Exercice II : les tests d'alcoolémie - 20 pts – durée indicative : 1 h 30

Il existe plusieurs moyens de contrôler le taux d'alcool présent dans le sang d'un individu :

Soit par une estimation à partir de la quantité d'éthanol présente dans l'air expiré. Ce dosage peut être effectué par les éthylotests ou des éthylomètres.

Soit par dosage de l'éthanol à partir d'un échantillon sanguin prélevé.

Données :

- Conversion volume/Capacité : $1 \text{ dm}^3 = 1 \text{ L}$
- L'ion potassium K^+ est un ion spectateur, incolore en solution aqueuse.
- Masse molaire moléculaire de l'éthanol : $46 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$
- Couleurs des espèces chimiques en présence :

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

Partie A : L'éthylotest de catégorie A**Document 1 - Principe des éthylotests de catégories A**

Ces alcootests jetables sont constitués d'un tube rempli d'un solide imprégné d'une solution acidifiée de dichromate de potassium ($2 \text{ K}^+_{(\text{aq})} + \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}_{(\text{aq})}$).

Lorsque l'on souffle dans le tube, si l'air expiré contient de l'éthanol, alors les ions dichromate oxydent cet éthanol en acide éthanoïque avec formation d'ions chrome III. Un changement de couleur s'opère ainsi sur une longueur de tube grossièrement proportionnelle à la concentration en alcool de l'air expiré : la précision est de l'ordre de 10 %.

On peut relier la concentration en éthanol dans l'haleine d'une personne à celle qui est contenue dans le sang de l'organisme en appliquant la loi de Henry (William Henry, physicien et chimiste). On trouve alors autant d'éthanol dans 2000 cm^3 d'air alvéolaire expiré que dans $1,0 \text{ cm}^3$ de sang : en d'autres termes, l'air alvéolaire est 2000 fois moins concentré en alcool que le sang.

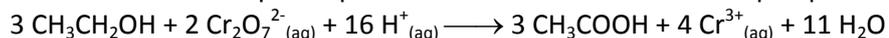
En France, le taux d'alcoolémie légal à ne pas dépasser au volant est de $0,50 \text{ g}$ d'alcool par litre de sang.

D'après Annales de Biologie clinique, 2003, vol. 61, n° 3, p. 269-279.

1. Ecriture de la réaction

1-1. Sachant que les ions dichromate sont réduits en ions chrome III lorsque l'air expiré dans l'alcootest contient de l'éthanol, donner les deux couples rédox mis en jeu ainsi que les demi-équations électroniques correspondant à ces deux couples. (1 pt)

1-2. Montrer que l'équation de la transformation chimique qui a lieu dans l'alcootest peut s'écrire : (0,5 pt)



1-3. Pourquoi la solution de dichromate de potassium utilisée dans l'éthylotest doit-elle être acidifiée ? (0,5 pt)

2. La quantité d'éthanol dans l'air expiré

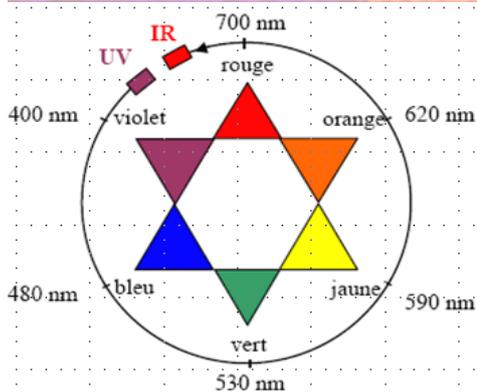
2-1. Expliquer le changement de couleur observé dans le tube lorsque l'air qui y est expiré contient de l'éthanol. (0,5 pt)

2-2. Quelle concentration massique en éthanol dans l'air expiré un conducteur ne doit-il pas dépasser ? (1 pt)

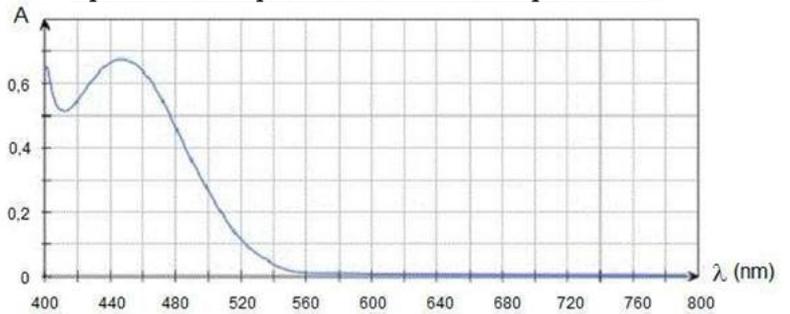
Partie B : Dosage de l'éthanol dans un prélèvement sanguin

Document 2 – Données spectrophotométriques

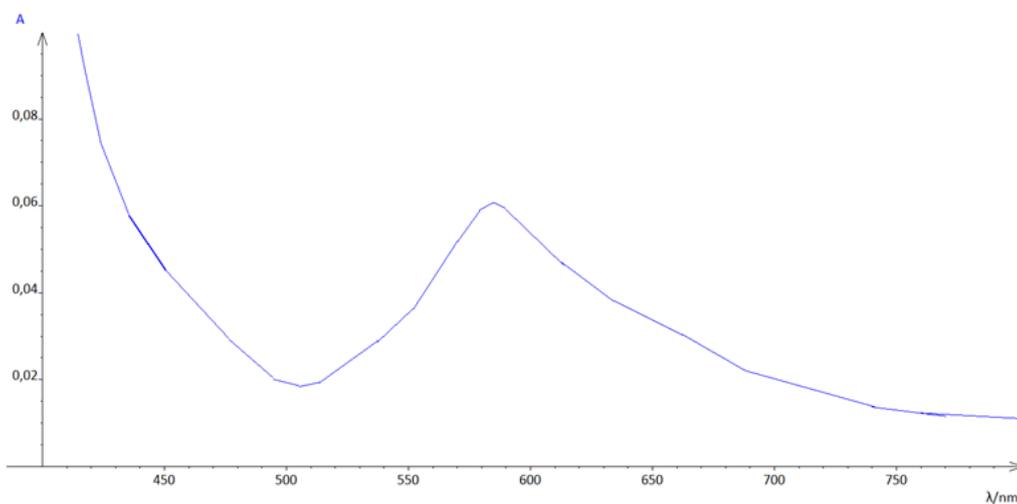
Roue des couleurs complémentaires



Spectre d'absorption du dichromate de potassium



Spectre d'absorption du chlorure de chrome III



Remarque : les deux spectres d'absorption suivants ont été réalisés avec des concentrations respectives en espèce colorée égales.

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 :

$$3 \text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} + 2 \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}(\text{aq}) + 16 \text{H}^+(\text{aq}) \longrightarrow 3 \text{CH}_3\text{COOH} + 4 \text{Cr}^{3+}(\text{aq}) + 11 \text{H}_2\text{O}$$

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

1. Choix de la méthode de suivi

- 1-1. Pourquoi cette réaction chimique peut-elle faire l'objet d'un suivi spectrophotométrique ? (0,5 pt)
- 1-2. Les spectres d'absorption présentés sur le document 2 sont-ils en accord avec les couleurs des ions dichromate et chrome III ? Justifier. (1 pt)
- 1-3. On désire suivre la présence des ions dichromate $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ en solution.
 - 1-3-1. Sur quelle longueur d'onde λ serait-il judicieux de régler le spectrophotomètre ? Expliquer. (0,5 pt)
 - 1-3-2. En regard des deux spectres, expliquer pourquoi on pourra négliger l'impact de l'absorbance due à la présence d'ions chrome III dans la solution. (1 pt)

2. Suivi temporel

On réalise les réglages préalables de l'appareil :

- on sélectionne la longueur d'onde $\lambda = 460 \text{ nm}$;
- on réalise « le blanc » avec une solution aqueuse contenant l'ion chrome III.

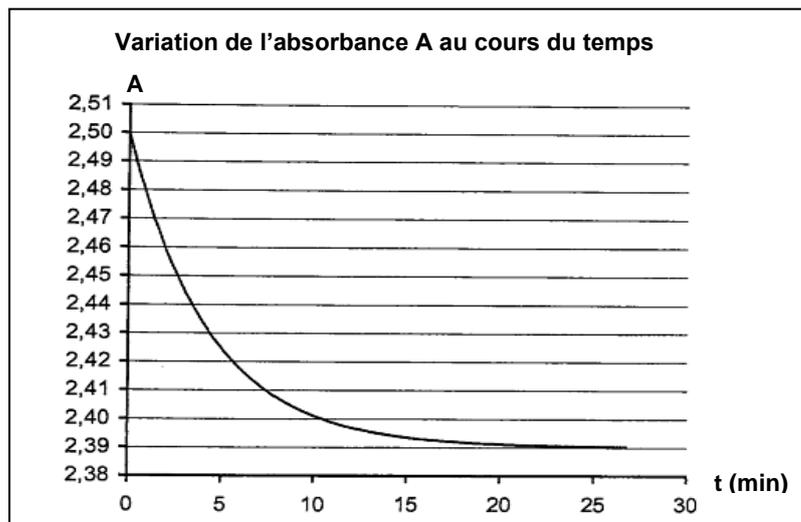
À la date $t = 0$, on mélange 2,0 mL de sang prélevé au bras d'un conducteur avec 10,0 mL d'une solution aqueuse acidifiée de dichromate de potassium ($2\text{K}^+ + \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) de concentration molaire $C = 2,00 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ en ions $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$. 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 ci-dessous :



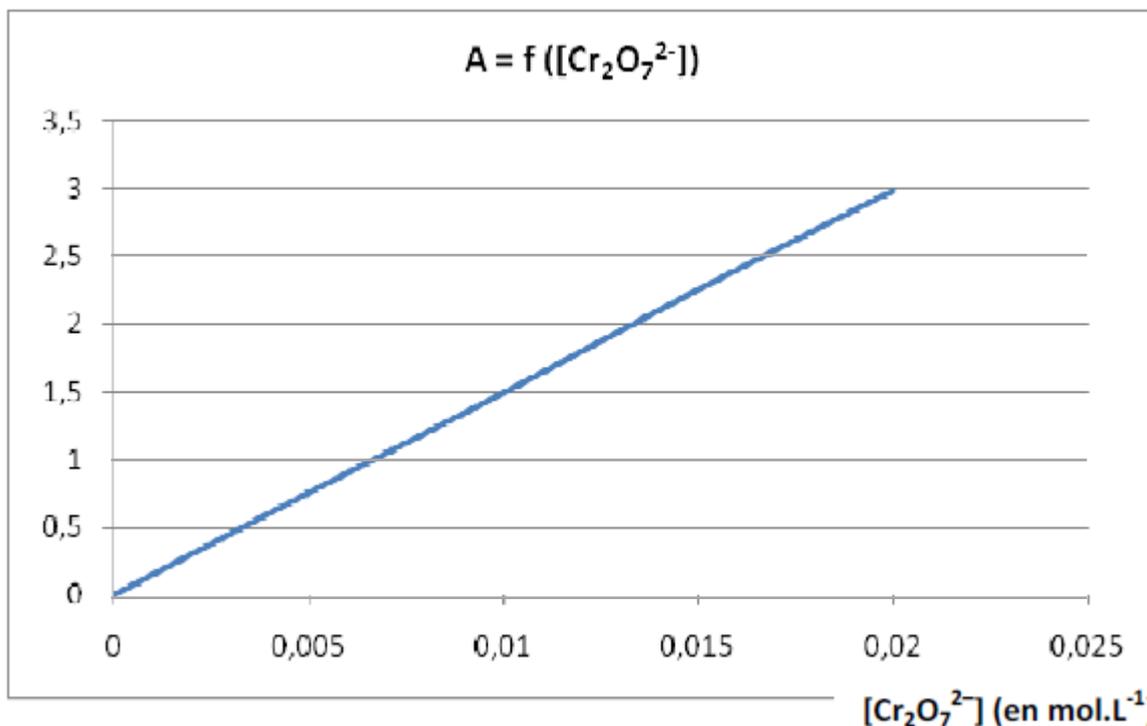
2-1. Montrer que la concentration molaire effective des ions dichromate à l'instant initial dans le mélange réactionnel de volume **V** vaut : $[\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}]_i = 1,67 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ (1 pt)

2-2. Établir le tableau d'avancement du système en désignant par n_0 la quantité de matière initiale d'éthanol 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. (1 pt)

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.

2-3. Exprimer l'avancement **x** de la réaction en fonction de la concentration en ions dichromate $[\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}]$ dans le mélange, du volume **V** du mélange réactionnel, et de la quantité n_1 . (1 pt)

2-4. Pour trouver la relation entre l'absorbance **A** et la concentration $[\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}]$ en mol.L^{-1} , on a tracé la courbe d'étalonnage ci-dessous :



- 2-4-1. Donner la relation mathématique qui lie l'absorbance **A** et la concentration $[\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}]$ en $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$. (1 pt)
 2-4-2. Dédire de la relation précédente que l'avancement **x** est lié à l'absorbance **A** par la relation : (1 pt)

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

- 2-5. 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. (1,5 pt)
 2-6. Un conducteur ne doit pas dépasser un taux de 0,5 g d'alcool par litre de sang. Le conducteur est-il en infraction ? (1,5 pt)
 2-7. La réaction mise en jeu au cours de ce test est une réaction lente.
 2-7-1. Déterminer sur la courbe **A = f(t)**, la durée de la réaction. (0,5 pt)
 2-7-2. Après avoir rappelé la définition du temps de demi-réaction $t_{1/2}$, déterminer la valeur de $t_{1/2}$. (1 pt)

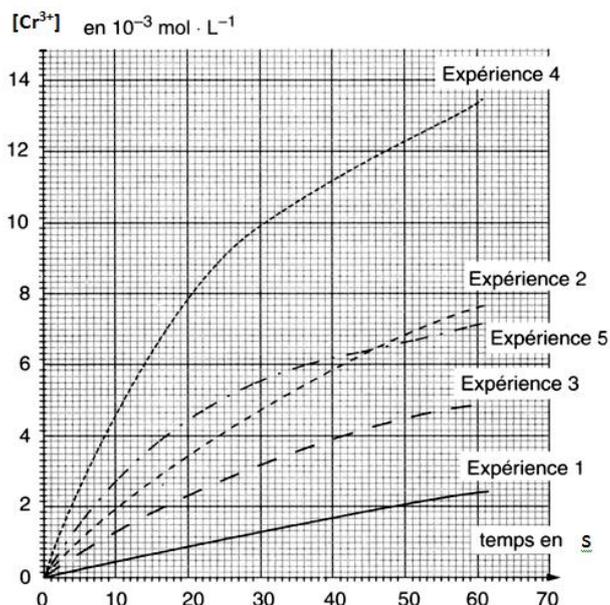
3. Comment accélérer cette réaction ?

Cette réaction étant considérée comme lente, on cherche à l'accélérer. Pour cela, on réalise 5 expériences dont les conditions expérimentales sont indiquées dans le tableau ci-dessous. On note $[\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}]_0$ et $[\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}]_0$ les concentrations initiales des réactifs. On réalise les mélanges à la date $t = 0$.

	$[\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}]_0$	$[\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}]_0$	Temperature (°C)	Produit ajouté
Expérience 1	$1,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$	$1,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$	10	aucun
Expérience 2	$2,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$	$3,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$	10	aucun
Expérience 3	$1,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$	$1,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$	25	aucun
Expérience 4	$2,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$	$3,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$	25	aucun
Expérience 5	$1,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$	$1,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$	10	Nitrate d'argent

On étudie les variations de la concentration en ions chrome III formés au cours du temps. Les résultats sont regroupés sur le graphique suivant :

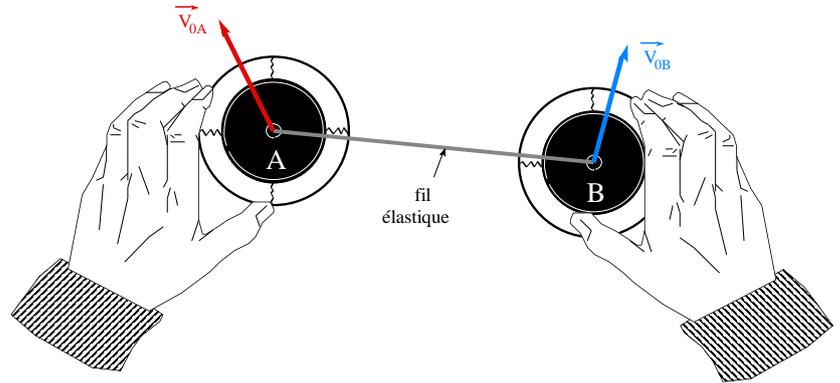
- 3-1. Comparer les courbes 1 et 3 (ou les courbes 2 et 4). Quel facteur cinétique est mis en jeu et quel est son effet ? (1 pt)
 3-2. Comparer les courbes 1 et 2 (ou les courbes 3 et 4). Quel facteur cinétique est mis en jeu et quel est son effet ? (1 pt)
 3-3. Avec quelle courbe peut-on comparer celle de l'expérience 5 pour affirmer le rôle du produit ajouté ? Comment nomme-t-on ce type de produit ? (1 pt)
 3-4. La réaction lors de l'expérience 5 est en fait « contournée » par deux réactions successives mettant en jeu l'ion Ag^+ du couple Ag^+/Ag présent dans le produit ajouté. Proposer les équations de ces deux « réactions de contournement ». (1 pt)



Exercice III : palets autoporteurs – 20 pts – durée indicative : 1 h

Deux palets autoporteurs A et B sont reliés par un fil élastique. Les palets, écartés l'un de l'autre avec l'élastique tendu, sont lancés sur une table horizontale.

Les positions des centres d'inertie G_A et G_B des mobiles sont enregistrées à intervalles de temps réguliers : $\Delta t = 40$ ms.



Le document annexe représente les trajectoires des deux palets dans le référentiel terrestre.

- L'échelle des distances est :

$$1\text{cm}(\text{sur le document}) \Leftrightarrow 2\text{cm}(\text{dans la réalité})$$

Pour les constructions à réaliser dans le cadre de cet exercice, on prendra :

- Echelle des vitesses :

$$1\text{cm} \Leftrightarrow 0,1\text{m.s}^{-1}$$

- Echelle des accélérations :

$$1\text{cm} \Leftrightarrow 2\text{m.s}^{-2}$$

1 . En expliquant votre raisonnement, calculer les valeurs des vecteurs vitesse de A et de B, aux dates t_5 et t_7 . **(2 pts)**

2 . Tracer **en vert sur le document annexe à rendre avec la copie** les vecteurs variation de vitesse des deux palets, à la date t_6 :

$$\begin{aligned} \overrightarrow{\Delta v_{5-7}}(A) &= \overrightarrow{v_7}(A) - \overrightarrow{v_5}(A) \\ \overrightarrow{\Delta v_{5-7}}(B) &= \overrightarrow{v_7}(B) - \overrightarrow{v_5}(B) \end{aligned}$$

(2 pts)

3 . Calculer les valeurs des vecteurs accélération des deux palets, à la date t_6 . **(1 pt)**

4 . Tracer **en noir sur le document annexe à rendre avec la copie** les deux vecteurs accélération :

$$\overrightarrow{a_6}(A), \overrightarrow{a_6}(B)$$

(1 pt)

5 . Représenter **en rouge** (sans souci d'échelle) **sur le document annexe à rendre avec la copie** les résultantes des forces extérieures agissant sur A et B à cette même date. **(1 pt)**

6 . Que peut-t-on dire de l'accélération du mobile A ou B à la date t_6 et de la résultante des forces qui agit sur lui au même instant ? Quelle loi vérifie-t-on ? **(2 pts)**

7 . Comparer les valeurs des accélérations des deux palets à la date t_6 . Que peut-on en conclure au sujet des masses m_A et m_B des deux mobiles ? **(2 pts)**

• L'instant t_{15} correspond au choc élastique (les deux palets sont entourés d'une lame souple montée sur ressorts qui permet au choc d'avoir lieu sans dissipation d'énergie) des deux mobiles qui se heurtent et se repoussent. A cette date, l'élastique **est détendu**.

8 . Calculer les valeurs des vecteurs vitesse de A et de B, aux dates t_{14} et t_{16} . **(2 pts)**

9 . Tracer **en vert sur le document annexe à rendre avec la copie** les vecteurs variation de vitesse des deux palets, à la date t_{15} :

$$\begin{aligned}\Delta \vec{v}_{14-16}(A) &= \vec{v}_{16}(A) - \vec{v}_{14}(A) \\ \Delta \vec{v}_{14-16}(B) &= \vec{v}_{16}(B) - \vec{v}_{14}(B)\end{aligned}$$

(2 pts)

10 . Calculer les valeurs des vecteurs accélération des deux palets, à la date t_{15} . (1 pt)

11 . Tracer **en noir sur le document annexe à rendre avec la copie** les deux vecteurs accélération :

$$\vec{a}_{15}(A), \vec{a}_{15}(B)$$

(1 pt)

12 . Représenter **en rouge** (sans souci d'échelle) **sur le document annexe à rendre avec la copie** les résultantes des forces extérieures agissant sur A et B à cette même date. Quelle(s) loi(s) de Newton vérifie-t-on ? (3 pts)

Figure 3 : dispositif de déflexion et vitre du tube cathodique.

