

LYCÉE MAINE DE BIRAN

BACCALAURÉAT BLANC - MARS 2025

ÉPREUVE DE SPÉCIALITÉ

PHYSIQUE - CHIMIE

DURÉE DE L'ÉPREUVE : 3 h 30

COEFFICIENT : 16

L'usage des calculatrices est autorisé :

- soit avec une calculatrice programmable avec le mode examen activé,
- soit avec une calculatrice non programmable (calculatrice "collège").

Le sujet comporte 9 pages numérotées de 1 à 9.

Les trois exercices sont indépendants les uns des autres :

Exercice A :

Étude d'une chaufferette (4 points)

Exercice B :

Les exoplanètes (11 points)

Exercice C :

L'érythrosine, un colorant alimentaire (5 points)

**Indiquer le nom de votre professeur de spécialité
en haut à droite de votre copie.**

**Les annexes en dernière page sont à rendre avec la copie
même si elles n'ont pas été complétées.**

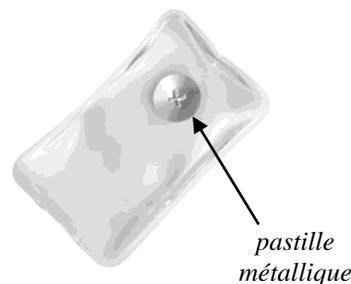
Ne pas joindre le sujet à la copie.

EXERCICE A : ÉTUDE D'UNE CHAUFFERETTE (4 POINTS)

Les chaufferettes sont de petites pochettes très pratiques à glisser dans les poches d'un manteau ou dans les gants pour se réchauffer en hiver car elles permettent de dégager de l'énergie thermique pendant une durée limitée.

Le dispositif étudié dans cet exercice est constitué d'une pochette en plastique contenant une pastille métallique et une solution aqueuse très concentrée d'éthanoate de sodium. Dans ces conditions, il suffit de tordre la pastille pour que l'éthanoate de sodium précipite. Cette transformation est exothermique.

Après utilisation, on peut "régénérer" la chaufferette en la chauffant, au bain-marie par exemple, et en la laissant doucement refroidir sans perturbation pour éviter la précipitation.



Photographie d'une chaufferette commerciale

Cet exercice a pour objectif de déterminer, à l'aide d'un titrage suivi par conductimétrie, le titre massique en éthanoate de sodium du contenu d'une chaufferette commerciale.

Données :

- masse molaire de l'éthanoate de sodium $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{Na}$: $M = 82,0\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$
- concentration maximale de l'éthanoate de sodium dans l'eau (ou solubilité) : $s = 365\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$
- valeurs de la conductivité molaire ionique λ à $25\text{ }^\circ\text{C}$ de quelques ions :

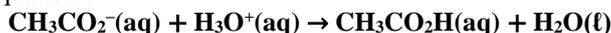
Ions	H_3O^+	Cl^-	Na^+	CH_3CO_2^-
λ en $\text{mS}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mol}^{-1}$	35,0	7,6	5,0	4,1

À partir de la solution d'éthanoate de sodium ($\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{CH}_3\text{CO}_2^-(\text{aq})$) présente dans la chaufferette, on prépare 50,0mL de solution diluée 25 fois. On note S la solution obtenue.

1. Décrire le protocole expérimental permettant de préparer la solution S.
Indiquer, en justifiant, les volumes de la verrerie utilisée.

On réalise un titrage avec suivi conductimétrique de la solution S. Pour cela un volume $V_s = 10,0\text{mL}$ de solution S est prélevé puis versé dans un bécher auquel sont ajoutés environ 250mL d'eau distillée. L'ensemble est alors titré par une solution aqueuse titrante d'acide chlorhydrique de concentration $C = 2,0\cdot 10^{-1}\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

La réaction support du titrage a pour équation :



La conductivité σ de la solution contenue dans le bécher est mesurée après chaque ajout de solution aqueuse titrante d'acide chlorhydrique. Les résultats expérimentaux obtenus sont reproduits en figure 1 ci-dessous.

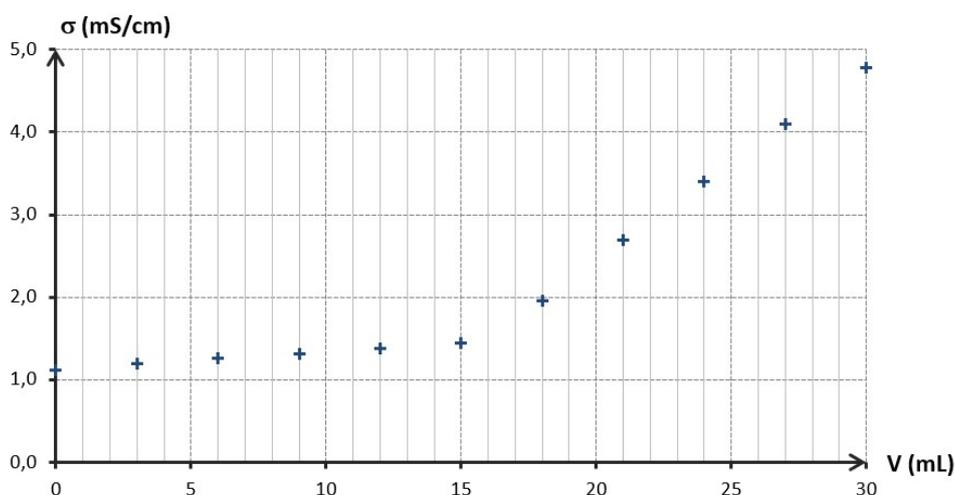


Figure 1 : Représentation graphique de la conductivité σ de la solution contenue dans le bécher en fonction du volume V versé de solution aqueuse titrante d'acide chlorhydrique

2. Reproduire sur la copie le tableau ci-dessous.

Décrire, dans chacune des cases, l'évolution des concentrations des ions dans le bécher lorsque l'on ajoute de l'acide chlorhydrique en utilisant les termes suivants :

① « reste constante »

② « reste négligeable »

③ « augmente »

④ « diminue »

On néglige l'effet de dilution dû à l'ajout de la solution d'acide chlorhydrique dans le bécher.

Concentrations	Avant l'équivalence	Après l'équivalence
$[\text{Na}^+]$		
$[\text{CH}_3\text{CO}_2^-]$		
$[\text{H}_3\text{O}^+]$		
$[\text{Cl}^-]$		

3. En utilisant les conductivités molaires ioniques des espèces présentes, justifier sans calcul l'allure de la courbe de la figure 1.
4. Déterminer, en faisant apparaître les constructions effectuées **sur l'annexe 1 en dernière page à rendre avec la copie**, la valeur du volume de solution aqueuse titrante versée à l'équivalence.
5. Justifier que la solution contenue dans la chaufferette est sursaturée, c'est-à-dire que sa concentration en masse de soluté est supérieure à sa solubilité s.

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti.

La démarche est évaluée et doit être correctement présentée.

EXERCICE B : LES EXOPLANÈTES (11 POINTS)

Les exoplanètes sont des planètes qui orbitent autour d'autres étoiles que notre Soleil. Elles sont très difficiles à détecter directement car elles sont petites et peu lumineuses. La détection de ces astres est un domaine passionnant de l'astronomie moderne.

Les astronomes utilisent différentes méthodes pour les détecter, comme la méthode des transits et celle des vitesses radiales.

Cette dernière méthode est basée sur l'effet Doppler. La mesure des variations de vitesse de l'étoile par l'analyse du décalage spectral des raies d'absorption dans le spectre de celle-ci permet de détecter la présence d'une exoplanète.

Il y a trente ans, en 1995, Michel Mayor et Didier Queloz découvraient ainsi la première exoplanète 51 Pegasi b.

Partie A : Étude du mouvement d'une étoile

Dans cette partie, l'effet Doppler va être utilisé pour mesurer la vitesse d'éloignement d'une étoile.

Donnée : célérité de la lumière dans le vide $c = 3,00 \cdot 10^5 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$

1. Décrire qualitativement ce qu'est l'effet Doppler.
2. Comparer la fréquence émise f_0 d'une raie du spectre d'une étoile s'éloignant de la Terre, à la fréquence f de cette raie perçue par un observateur sur Terre.

Le décalage Doppler est défini comme étant la différence de fréquence entre le signal reçu et le signal émis : $\Delta f = f - f_0$

La formule de Doppler suivante permet d'exprimer la vitesse d'éloignement v de cette étoile par rapport à un observateur terrestre dans le cas non relativiste (quand la vitesse de l'étoile est très inférieure à la célérité de la lumière) :

$$v = c \cdot \left(\frac{f_0}{f} - 1 \right)$$

3. Montrer que le décalage Doppler a pour expression : $\Delta f = -\frac{v}{v+c} \times f_0$ Le signe de Δf est-il cohérent ?
4. Donner la relation entre la fréquence f d'un signal lumineux de longueur d'onde λ se propageant à la célérité de la lumière c en fonction de λ et c .
5. En déduire que l'expression de la vitesse d'éloignement de l'étoile en fonction de λ_0 (longueur d'onde émise d'une raie de l'étoile) et λ (longueur d'onde perçue par un observateur sur Terre) est :

$$v = c \cdot \left(\frac{\lambda}{\lambda_0} - 1 \right)$$

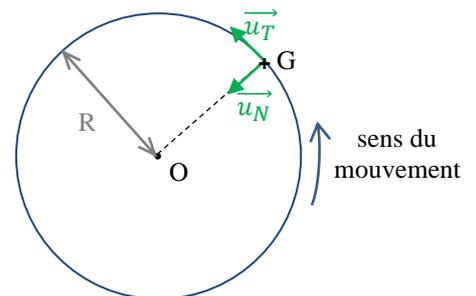
Le spectre visible des raies de l'atome d'hydrogène (appelées raies de Balmer) permet de mesurer la longueur d'onde de la raie $H\alpha$ de ce spectre : $\lambda_0 = 656,300 \text{ nm}$

La même raie $H\alpha$ observée dans le spectre de l'étoile étudiée a pour longueur d'onde : $\lambda = 656,373 \text{ nm}$

6. Grâce aux données précédentes, calculer la vitesse d'éloignement v de l'étoile.

Partie B : Étude du mouvement d'une exoplanète

On s'intéresse maintenant à une exoplanète de masse m , système dont on étudiera le mouvement de son centre de gravité G en orbite circulaire de rayon R autour d'une étoile de masse M_E et de centre O . L'étude est réalisée dans le référentiel de l'étoile supposé galiléen. On travaille dans le repère de Frenet (\vec{G} , \vec{u}_T , \vec{u}_N).



Donnée : constante de gravitation universelle $\Rightarrow G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$

7. En utilisant la deuxième loi de Newton, donner l'expression vectorielle du vecteur accélération \vec{a} de la planète en fonction de G , M_E , R et de l'un des vecteurs unitaires.
8. Montrer alors que la vitesse de la planète est uniforme et a pour expression : $v = \sqrt{\frac{G \cdot M_E}{R}}$

L'exoplanète orbite à une vitesse $v = 130 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ sur une orbite de rayon $R = 0,050 \text{ U.A.}$ ($1 \text{ U.A.} = 150 \cdot 10^6 \text{ km}$).

9. Déterminer la masse M_E de l'étoile.

Soit T la période de révolution de la planète autour de l'étoile.

10. Retrouver la troisième loi de Kepler : $\frac{T^2}{R^3} = K$ où K est une constante à exprimer en fonction de G et M_E .

11. Déterminer la période de révolution T de l'exoplanète en secondes puis en jours.

Partie C : Observation d'une exoplanète avec une lunette astronomique

Un astronome souhaiterait faire construire une lunette astronomique dans le but d'observer directement l'exoplanète précédente. Pour cela il aimerait connaître le diamètre minimum de la lentille de l'objectif d'une lunette astronomique qui permettrait de pouvoir observer l'exoplanète à travers un oculaire de distance focale égale à 10mm.

12. La lunette astronomique est un système optique afocal, qu'est-ce que cela signifie ?
13. Compléter **le schéma de l'annexe 2 en dernière page à rendre avec la copie**, en traçant les rayons lumineux ① et ② issus d'un point B de l'exoplanète (objet AB supposé à l'infini) et y faire apparaître l'image intermédiaire A_1B_1 et l'image définitive A'B'.
14. Quelle est la lentille qui correspond à l'objectif, L_1 ou L_2 ? Justifier.

On note θ l'angle sous lequel on voit l'exoplanète à l'œil nu et θ' l'angle sous lequel on voit l'image définitive A'B' de l'exoplanète à travers la lunette astronomique.

15. Représenter θ et θ' sur le schéma de l'annexe.
16. Donner l'expression du grossissement G en fonction de θ et θ' .
17. Démontrer que le grossissement peut s'exprimer sous la forme :

$$G = \frac{f_1'}{f_2'} \quad \text{où } f_1' \text{ est la distance focale de la lentille } L_1 \text{ et } f_2' \text{ la distance focale de la lentille } L_2.$$

On fera l'approximation des petits angles : $\tan \theta = \theta$ et $\tan \theta' = \theta'$

L'observateur dispose d'un oculaire de distance focale égale à 10,0mm.

L'exoplanète est vue depuis la Terre sous un angle $\theta = 2,00 \cdot 10^{-9}$ rad.

Le pouvoir séparateur de l'œil (angle minimal sous lequel on peut discerner un objet) est égal à : $\varepsilon = 2,69 \cdot 10^{-4}$ rad

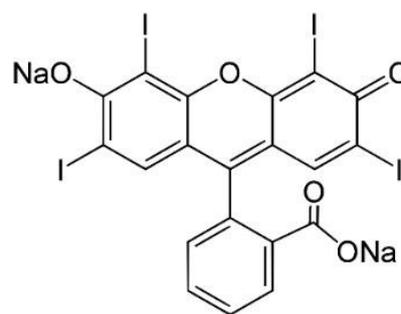
18. Montrer que la distance focale minimale de l'objectif de la lunette astronomique pour que l'observateur puisse observer l'exoplanète est de 1,35 km.

La plus grande lunette astronomique réalisée fut la lunette astronomique de l'exposition universelle de Paris en 1900. Elle mesurait 57m de long pour un diamètre de l'objectif de 1,25m. L'inconvénient majeur de cette lunette était son rapport d'ouverture (quotient de la distance focale de l'objectif sur le diamètre de l'objectif) beaucoup trop grand pour permettre d'observer de faibles sources lumineuses comme les galaxies ou les nébuleuses. Il n'est pas possible techniquement de réaliser des lunettes astronomiques de diamètre d'objectif supérieur à 2,0m. Pour observer une exoplanète, on estime qu'il faudrait un rapport d'ouverture de 8,0 au maximum pour que le signal soit perceptible par l'œil à travers l'oculaire.

19. Calculer le diamètre minimal de la lentille de l'objectif permettant d'observer l'exoplanète dans les conditions de la question 18.
20. Le projet de construction de lunette astronomique de notre observateur pour observer l'exoplanète est-il réalisable ?

EXERCICE C : L'ÉRYTHROSINE, UN COLORANT ALIMENTAIRE (5 POINTS)

L'érythrosine est un colorant synthétique rouge contenant de l'iode. Très soluble dans l'eau, ce colorant est utilisé pour colorer les aliments, notamment les cerises en conserve, ainsi que pour teinter des préparations microscopiques ou des médicaments. Les taches dues à ce colorant peuvent être traitées à l'eau de Javel.



Formule de l'érythrosine

Document

La DJA (Dose Journalière Admissible qu'un individu peut ingérer sans risque pour sa santé) est de 0,1mg/kg de masse corporelle, par jour.

Extrait de : <https://www.avenir-bio.fr/additif,E127>

Dans la partie A, on souhaite savoir si une solution d'érythrosine contenue dans une boîte de conserve de cerises respecte la DJA.

La seule espèce colorée dans cette solution est l'érythrosine.

Dans la partie B, on s'intéresse à la cinétique de la décoloration de l'érythrosine par l'eau de Javel.

Données :

- Spectre d'absorption d'une solution aqueuse d'érythrosine de référence :

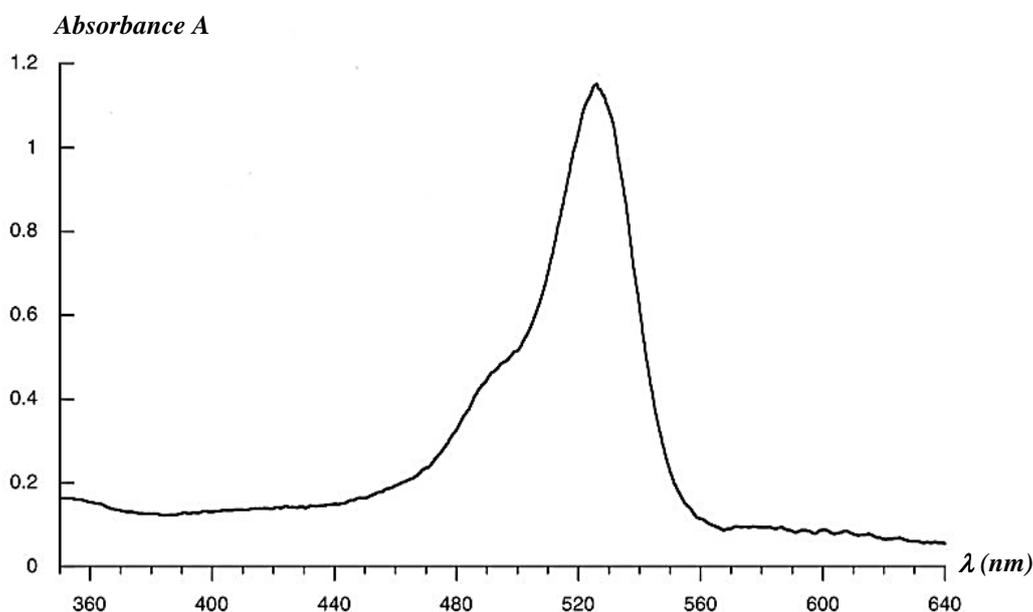


Figure 1 : Spectre d'absorption d'une solution aqueuse d'érythrosine

- Volume de la solution d'érythrosine extraite de la boîte de conserve de cerises : $V = 500\text{mL}$
- Coefficient d'absorption molaire de l'érythrosine dans les conditions de l'expérience : $\epsilon = 8,2 \cdot 10^4 \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$
- Longueur de la cuve du spectrophotomètre : $\ell = 1,0 \text{cm}$
- Rappel de la loi de Beer-Lambert : $A = \epsilon \cdot \ell \cdot c$
- Masse volumique de l'eau de Javel utilisée : $\rho_J = 1095 \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$
- Masse molaire de l'érythrosine : $M_E = 879,86 \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$
- Autres masses molaires : $M(\text{Cl}) = 35,5 \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ et $M(\text{O}) = 16,0 \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

On note $[E]$ la concentration en quantité de matière d'érythrosine dans la solution.

Partie A : Concentration en érythrosine dans la solution contenue dans la boîte de cerises

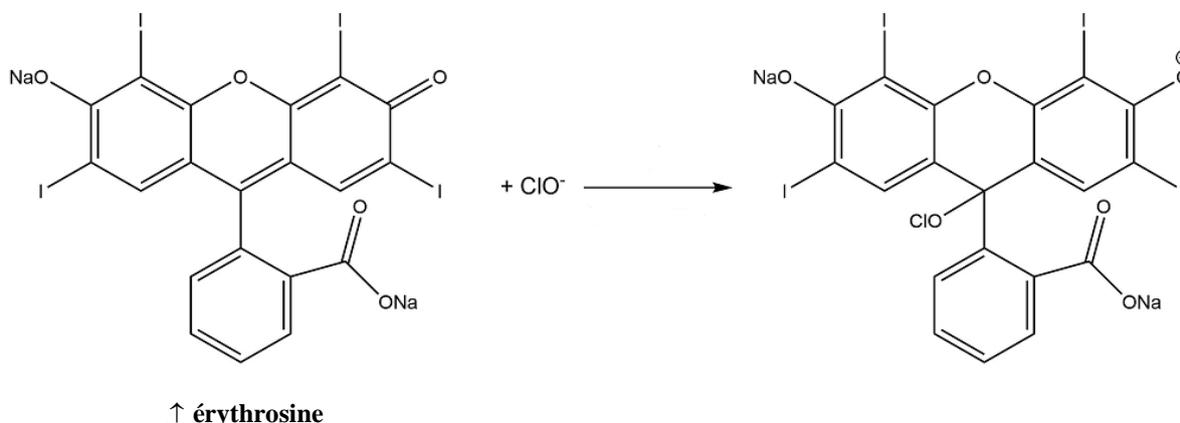
1. Proposer une valeur de la longueur d'onde λ_m à laquelle régler le spectrophotomètre.
2. À partir de la loi de Beer-Lambert, montrer que la mesure de l'absorbance de la solution étudiée permet de déterminer la concentration en érythrosine.

On mesure l'absorbance de la solution étudiée. La valeur obtenue est $A_{\text{solution}} = 0,44$.

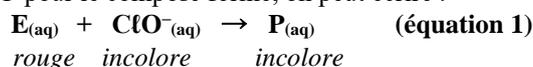
3. Montrer que la concentration de la solution en érythrosine est : $[E] = 5,4 \cdot 10^{-6} \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$
4. En s'appuyant sur la valeur de la DJA citée dans le document de l'introduction, montrer qu'une personne de 50kg peut consommer la totalité de la solution contenue dans la conserve de cerises sans risque pour sa santé.

Partie B : Cinétique de la décoloration de l'érythrosine par l'eau de Javel

En cas de taches, l'érythrosine peut être décolorée par les ions hypochlorite ClO^- apportés par une solution d'eau de Javel. Un composé incolore se forme selon l'équation :



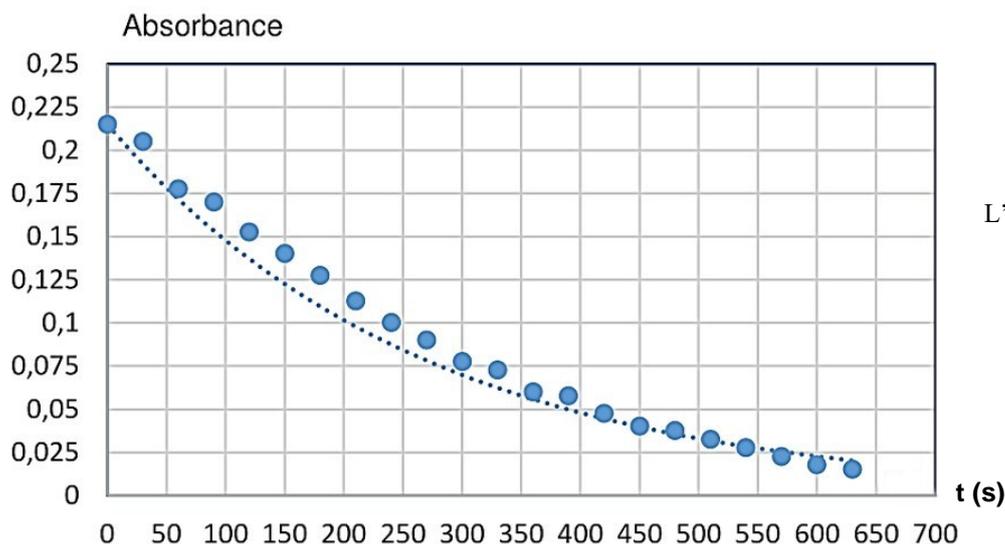
Avec les notations E pour l'érythrosine et P pour le composé formé, on peut écrire :



On s'intéresse à la rapidité avec laquelle l'eau de Javel permet d'effacer les taches d'érythrosine, dans le cas où l'ion hypochlorite est en excès.

Protocole :

- Pour préparer la solution en ions hypochlorite ClO^- , on utilise une solution commerciale S_0 d'eau de Javel contenant 4,8% en masse d'ion hypochlorite.
- On prélève $V_0 = 30\text{mL}$ de solution S_0 que l'on verse dans une fiole jaugée de volume $V_j = 100\text{mL}$ et on complète jusqu'au trait de jauge. On obtient ainsi une solution S_1 de volume $V_j = 100\text{mL}$.
- À la date $t = 0\text{s}$, on mélange $V_1 = 5\text{mL}$ de solution S_1 avec $V_E = 5\text{mL}$ de solution d'érythrosine dont la concentration en érythrosine a été déterminée à la question 3 et on mesure l'absorbance du mélange au cours du temps, voir figure 2 ci-dessous.



Sur cette figure, on a superposé une modélisation, en pointillés, aux points expérimentaux.

L'équation de la courbe de modélisation est donnée par le tableau :

$$A = 0,215 \cdot e^{-0,0036 \cdot t}$$

Figure 2 : Évolution temporelle de l'absorbance de la solution d'érythrosine

5. Montrer que la concentration de la solution S_1 en ions hypochlorite ClO^- est : $C_1 = 3,1 \cdot 10^{-1} \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$
6. En calculant les quantités de matière initiales en érythrosine n_{Ei} et en ion hypochlorite n_{Hi} , montrer que les ions hypochlorite sont effectivement en excès.
7. Définir la vitesse volumique de disparition de l'érythrosine en utilisant la notation $[E]$.
8. Donner l'expression de la vitesse volumique de disparition v de l'érythrosine en fonction de la concentration $[E]$ et d'une constante k positive dans le cas où la loi de vitesse est d'ordre 1.

Dans le cas où la loi de vitesse est d'ordre 1, l'équation différentielle satisfaite par la concentration $[E]$ est donc : $\frac{d[E]}{dt} = -k.[E]$

Les solutions de cette équation différentielle sont de la forme : $[E](t) = [E]_0 e^{-k.t}$

Par ailleurs, on rappelle que, pour la fonction logarithme népérien, on a les relations : $\ln(a \times b) = \ln(a) + \ln(b)$ et : $\ln(e^x) = x$

- 9.** Montrer que le temps de demi-réaction $t_{1/2}$ pour une loi de vitesse d'ordre 1 est donné par la relation : $t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{k}$
- 10.** Montrer, en utilisant le résultat de la question 2, que si la décoloration de l'érythrosine suit une loi de vitesse d'ordre 1, alors l'évolution de l'absorbance en fonction du temps est une exponentielle.
- 11.** Déterminer la valeur de $t_{1/2}$ en indiquant la méthode utilisée et conclure sur la rapidité de l'action de l'eau de Javel sur l'érythrosine.

NOM :

Prénom :

*Les annexes sont à rendre avec la copie même si elles n'ont pas été complétées.
Ne pas joindre le reste du sujet à la copie.*

ANNEXE 1

EXERCICE A : ÉTUDE D'UNE CHAUFFERETTE

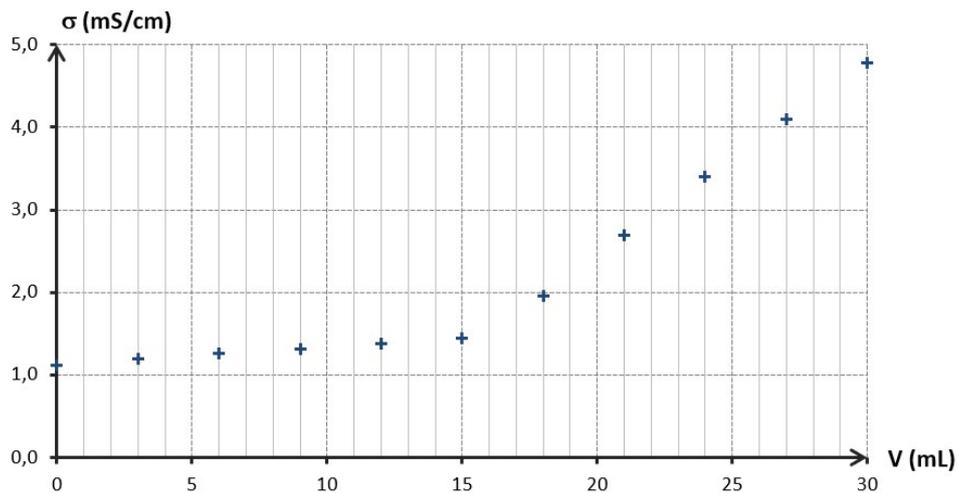


Figure 1 : Représentation graphique de la conductivité σ de la solution contenue dans le bécher en fonction du volume V versé de solution aqueuse titrante d'acide chlorhydrique

ANNEXE 2

EXERCICE B : LES EXOPLANÈTES

Schéma de la lunette astronomique

