

BAC BLANC PHYSIQUE CHIMIE N°1 - JOUR 1

LUNDI 18 DÉCEMBRE 2023

- L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.
- L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collègue » est autorisé.
- L'annexe **seule** est à rendre avec la copie

EXERCICE 1 (11 points) PLONGEON DE HAUT VOL

Le plongeon de haut vol est une discipline sportive qui consiste à effectuer des figures depuis une plateforme située à une vingtaine de mètres de hauteur. Une étape du « Cliff Diving World Series » a eu lieu en 2016 à La Rochelle. Voici un extrait du journal de la région :

Le « Cliff Diving World » n'est pas seulement un spectacle aussi hallucinant que gracieux, c'est une compétition de très haut niveau avec les meilleurs athlètes mondiaux de la discipline.

Le plongeon

Il est installé au sommet de la Tour Saint-Nicolas sur le port, à une hauteur de 27 mètres au-dessus de l'eau.

Les risques et données techniques

Le plongeon est effectué en 3 secondes. La vitesse d'impact lors de l'entrée dans l'eau est proche de 90 km/h. Le moment le plus risqué pour l'athlète est l'entrée dans l'eau. Certaines parties du corps du plongeur sont encore en pleine accélération alors que d'autres subissent une forte décélération.

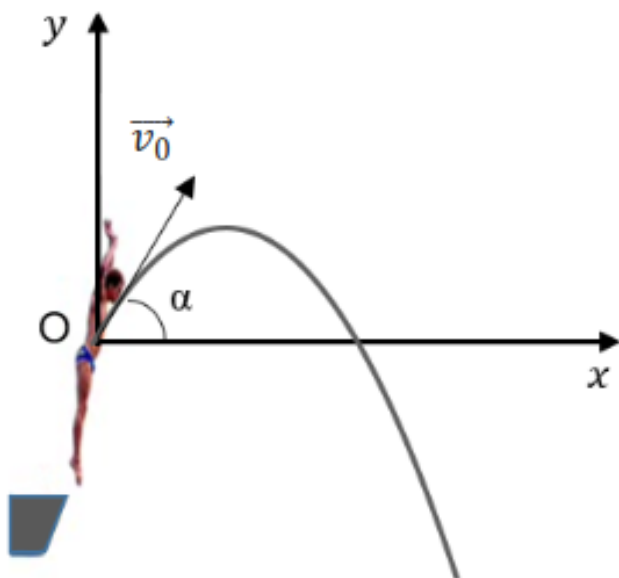
D'après un article de la Nouvelle République (avril 2017)



Dans cet exercice, on se propose d'étudier différents aspects de ce type de saut et de vérifier quelques informations de l'article. Dans chacune des **parties A et B**, concernant respectivement les aspects énergétiques et cinématiques du plongeur dans l'air, on se concentre sur le mouvement du centre de masse du plongeur, noté P , dans le référentiel du plongeur supposé galiléen.

Dans tout l'exercice, la rotation du plongeur sur lui-même est négligée. Le repère (O, x, y) est dans le plan du mouvement. Son origine O coïncide avec la position du centre de masse P du plongeur à l'instant $t = 0$ s (figure 1). Lors du saut, le plongeur se propulse et acquiert ainsi une vitesse initiale \vec{v}_0 à la date $t = 0$ s caractérisée par le vecteur vitesse initiale \vec{v}_0 incliné d'un angle α avec l'horizontale.

Une chronophotographie a permis d'obtenir les valeurs des coordonnées du centre de masse P du plongeur au cours du temps. Sur la figure 1 ci-dessous, on donne le schéma de principe de la situation, l'allure de la trajectoire de P ainsi que les valeurs des coordonnées de P pour les cinq premiers points.



t (s)	x (m)	y (m)
0	0	0
0,033	0,050	0,060
0,067	0,10	0,11
0,100	0,15	0,15
0,133	0,21	0,18

FIG. 1 : Schéma et coordonnées du centre de masse P du plongeur

Données :

- Masse du plongeur $m = 70,0$ kg
- Intensité de la pesanteur $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

Partie A - Étude énergétique

Pour effectuer l'étude énergétique, on utilise un programme Python dont un extrait est reproduit figure 2 ci-dessous.

```

1 import matplotlib.pyplot as plt
2 m = 70 # Masse en kg
3 g = 9.81 # Intensité de la pesanteur en N/kg
4 # =====
5 # Importation des données de pointage
6 # =====
7 t,x,y=[],[],[] # Définitions de listes vides pour t,x et y
8
9 .....
10
11 # =====
12 # Calcul des coordonnées vx, vy et de la valeur v du vecteur vitesse
13 # =====
14 N = len(t) # Nombre de positions
15 vx,vy,v = [],[],[] # Définitions de listes vides pour vx,vy et v
16 for i in range(N-1) :
17     vxi=(x[i+1]-x[i])/(t[i+1]-t[i]) # coordonnée selon x du vecteur vitesse au point i
18     vyi=(y[i+1]-y[i])/(t[i+1]-t[i]) # coordonnée selon y du vecteur vitesse au point i
19     vi=(vxi**2+vyi**2)**0.5 # valeur du vecteur vitesse au point i
20     vx.append(vxi)
21     vy.append(vyi)
22     v.append(vi)
23
24 # =====
25 # Calcul des grandeurs énergétiques
26 # =====
27 m = 70 # Masse en kg
28 Epp,Ec,Em = [],[],[] # Définitions de listes vides pour Epp, Ec et Em
29 for i in range(N-1) :
30     Eppi= # expression de L'énergie potentielle au point i
31     Eci=(1/2)*m*v[i]**2 # expression de L'énergie cinétique au point i
32     Emi= # expression de L'énergie mécanique au point i
33     Epp.append(Eppi)
34     Ec.append(Eci)
35     Em.append(Emi)
36
37
38
39
40
41

```

FIG. 2 : Extrait du code Python

Grâce au programme Python, on peut calculer les valeurs des énergies potentielle de pesanteur (E_{pp}), cinétique (E_c) et mécanique (E_m) du plongeur.

L'énergie potentielle de pesanteur est prise nulle pour $y = 0$ m.

Q1. Recopier et compléter les instructions des lignes 36 et 38 du programme Python.

Le programme permet d'obtenir des représentations graphiques des évolutions au cours du temps des énergies cinétique et potentielle du plongeur durant les quelques millisecondes qui suivent le début de sa chute (voir figure 3 ci-après).

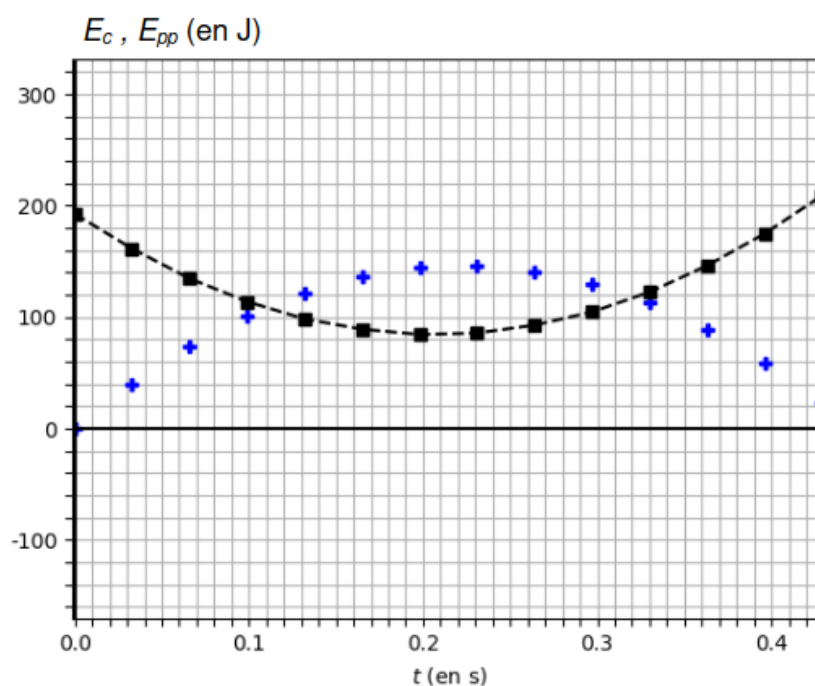


FIG. 3 : Évolution des énergies cinétique et potentielle au tout début du saut

Q2. Justifier que la courbe en pointillés sur la figure 3 ci-dessus est celle de l'évolution de l'énergie cinétique au cours du temps.

Q3. Montrer, à partir de la courbe de l'énergie cinétique, que la valeur de la vitesse initiale est de l'ordre de $v_0 = 2,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Un autre relevé des coordonnées du point P , effectué sur une durée plus longue, conduit aux tracés figure 4 ci-dessous.

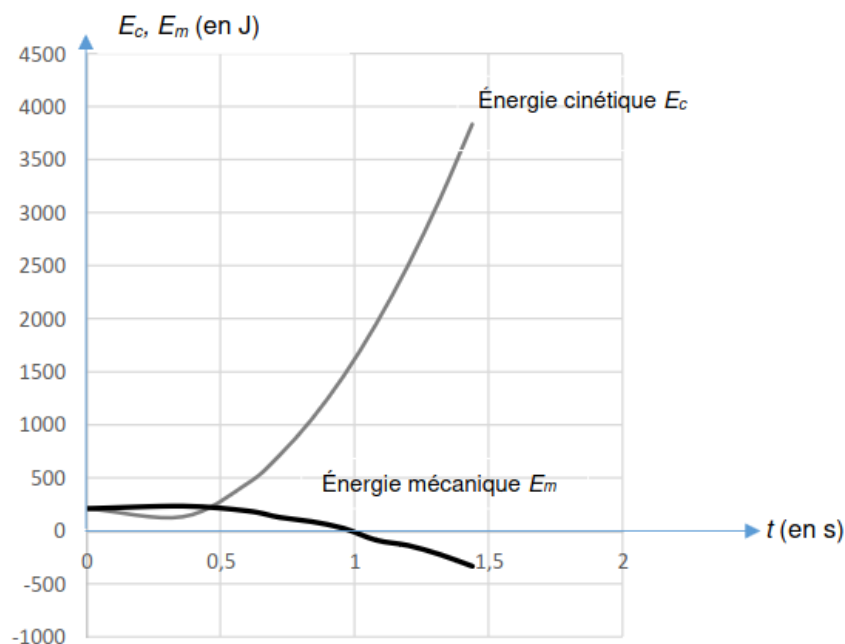


FIG. 4 : Évolution des énergies cinétique et mécanique

On constate que l'énergie mécanique reste constante si $t \leq 0,4 \text{ s}$, puis décroît progressivement.

- Q4.** Pour chacune des deux phases, $t \leq 0,4 \text{ s}$ puis $t > 0,4 \text{ s}$, préciser si les frottements sont négligeables ou non. Justifier.
- Q5.** En observant les courbes sur la figure 4, formuler une hypothèse sur l'importance des forces de frottement en fonction de la valeur de la vitesse, suivant que celle-ci est faible ou élevée.

Partie B - Étude cinématique

Dans cette partie, à l'aide des lois de la mécanique, on cherche à retrouver la forme de la trajectoire observée ainsi que les valeurs de la durée de chute dans l'air et de la vitesse lors de l'entrée dans l'eau.

- Q6.** En utilisant des valeurs du tableau de données (figure 1), calculer les valeurs de v_{0x} et v_{0y} , coordonnées du vecteur vitesse initiale \vec{v}_0 à la date $t = 0 \text{ s}$, en appliquant les instructions des lignes 24 et 25 du code Python (figure 2).
- Q7.** À partir des valeurs v_{0x} et v_{0y} , vérifier que la valeur de l'angle α est de l'ordre de $\alpha = 50^\circ$.

Pour la suite de cette **partie B**, on néglige les actions exercées par l'air sur le plongeur et on fait l'hypothèse de la chute libre, ce qui revient à considérer que la seule force extérieure subie par le plongeur est son poids. On utilise ainsi un modèle simplifié permettant de déterminer les valeurs de différentes grandeurs puis de les comparer avec les résultats expérimentaux et les indications de l'article.

À $t = 0 \text{ s}$, le centre de masse P du plongeur est en O , à 28 m au-dessus du niveau de l'eau.

- Q8.** Écrire la relation traduisant l'application de la deuxième loi de Newton sur le plongeur de masse m en utilisant les grandeurs \vec{g} , champ de pesanteur, et \vec{a} , accélération du centre de masse du plongeur.
- Q9.** Exprimer littéralement les coordonnées $a_x(t)$ et $a_y(t)$ du vecteur accélération $\vec{a}(t)$, ainsi que les coordonnées $v_x(t)$ et $v_y(t)$ du vecteur vitesse $\vec{v}(t)$, en fonction de v_0 , g , t et α .

Q10. Montrer que les équations horaires du mouvement du centre de masse du plongeur ont pour expression :

$$\overrightarrow{OP}(t) \begin{cases} x(t) = v_0 \times \cos(\alpha) \times t \\ y(t) = -\frac{1}{2} \times g \times t^2 + v_0 \times \sin(\alpha) \times t \end{cases}$$

Q11. Établir l'équation de la trajectoire et montrer qu'elle est compatible avec l'allure de la trajectoire représentée sur la figure 1.

Q12. À partir des équations horaires, montrer que la durée de la chute peut être obtenue en résolvant l'équation du second degré :

$$-4,9 t^2 + 1,8 t + 28 = 0 \text{ (équation 1)}$$

Mathématiquement, l'équation 1 admet deux solutions que l'on peut écrire :

$$t_1 = -2,21 \text{ s et } t_2 = 2,58 \text{ s}$$

Expérimentalement, la durée de la chute mesurée est : $\Delta t_{exp} = 2,8 \text{ s}$. La valeur de l'incertitude sur cette durée mesurée est $u(\Delta t_{exp}) = 0,3 \text{ s}$.

Q13. Par un calcul du z-score, vérifier que l'hypothèse de la chute libre, posée pour établir les équations horaires, conduit à une valeur de la durée de chute en accord avec le résultat expérimental.

Q14. Montrer que la valeur de la vitesse lors de l'entrée dans l'eau v_{th} prédite par l'étude cinématique est de l'ordre de $24 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Q15. Indiquer si la valeur v_{th} obtenue à la **question 14** est en accord ou non avec la valeur citée dans l'article introductif.

Une fois dans l'eau, le plongeur s'immobilise en 0,5 s.

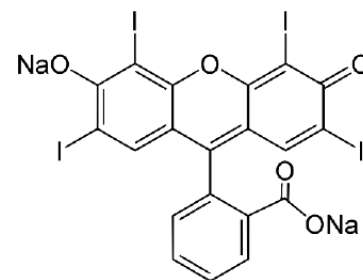
Q16. Donner une estimation de la valeur de l'accélération a_{eau} subie par le plongeur une fois dans l'eau en s'appuyant sur la valeur de la vitesse obtenue à la **question 14**.

Comparer ce résultat à l'intensité du champ de pesanteur g .

EXERCICE 2 (5 points)

L'ERYTHROSINE, COLORANT ALIMENTAIRE

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.



Document

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

Absorbance A

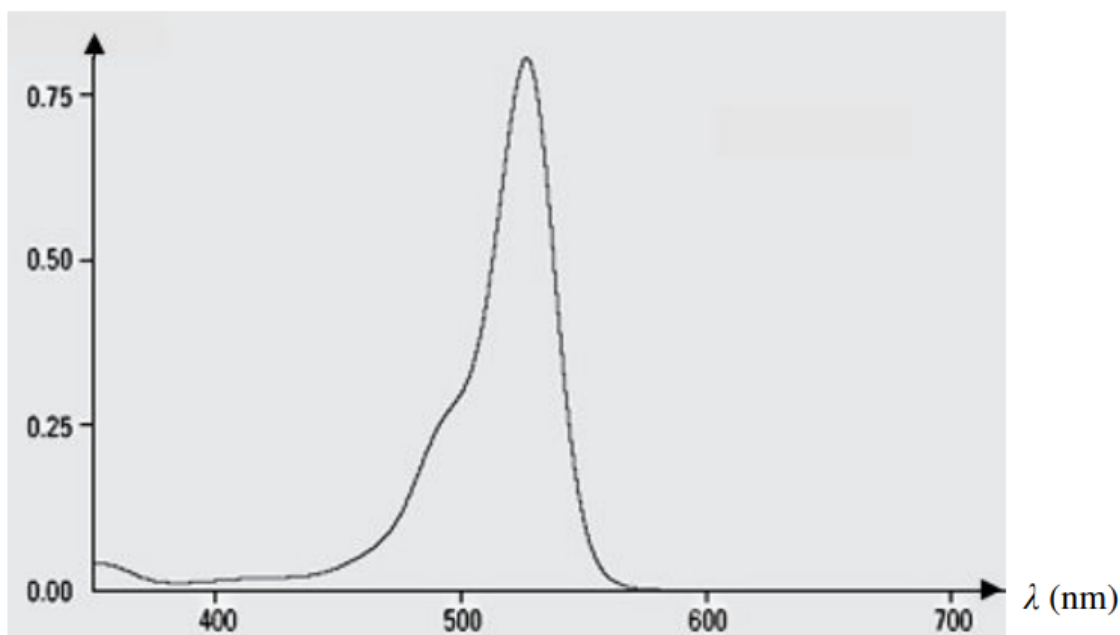


FIG. 1 : Spectre d'absorption d'une solution aqueuse d'érythrosine

- 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 : $\epsilon = 8,2 \times 10^4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$
- Longueur de la cuve du spectrophotomètre : $\ell = 1,0 \text{ cm}$
- Rappel de la loi de Beer-Lambert : $A = \epsilon \times \ell \times C$
- 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 : $M(\text{Cl}) = 35,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(\text{O}) = 16,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

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

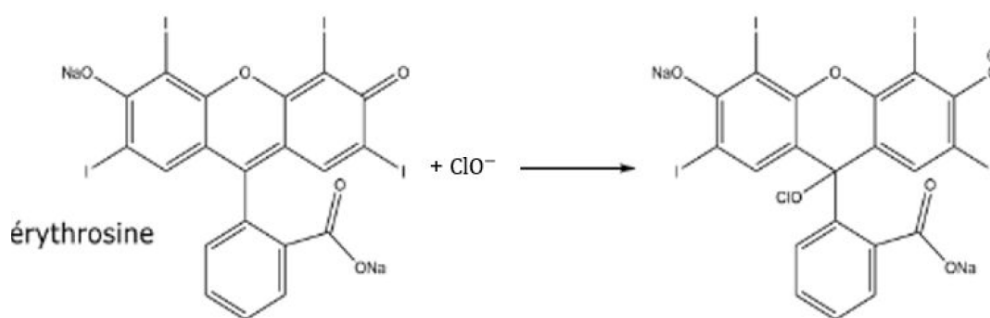
- Q1.** Proposer une valeur de la longueur d'onde λ_m à laquelle régler le spectrophotomètre. Justifier
- Q2.** À partir de la loi de Beer-Lambert, montrer que la mesure de l'absorbance de la solution étudiée permet de déterminer la concentration en érythrosine.

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

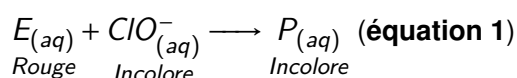
- Q3.** Montrer que la concentration de la solution en érythrosine est : $[E] = 5,4 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.
- Q4.** En s'appuyant sur la valeur de la DJA citée dans le document de l'introduction, montrer qu'une personne de 50 kg peut consommer la totalité de la solution contenue 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 :



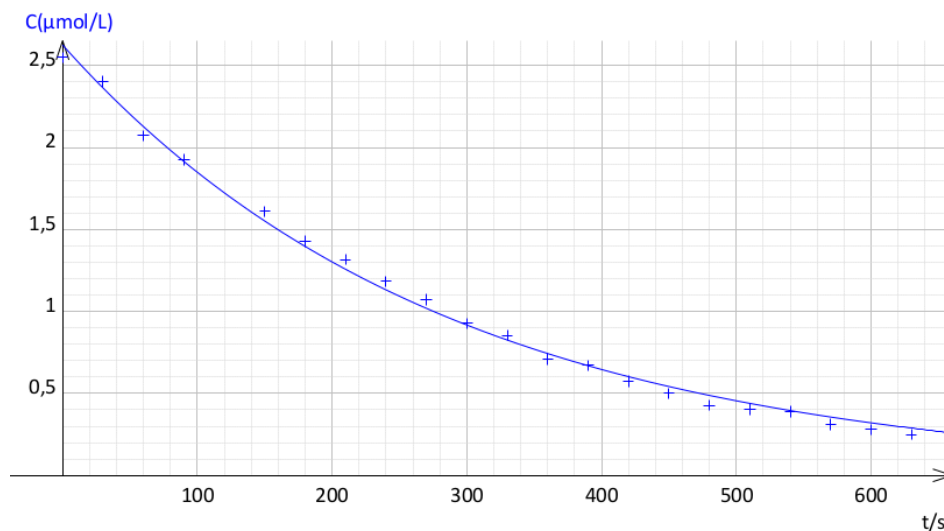
On s'intéresse à la rapidité avec laquelle l'eau de Javel permet d'effacer les taches d'érythrosine, dans le cas où l'ion hypochlorite est en excès.

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 Q3, on mesure l'absorbance du mélange au cours du temps, puis on en déduit $[E]$ 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 :

$$[E] = 2,63 \times 10^{-6} \times e^{-0,0035 \cdot t}$$

FIG. 2 : Évolution temporelle de la concentration en érythrosine

- Q5.** Montrer que la concentration de la solution S_1 en ion hypochlorite ClO^- est $C_1 = 3,1 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.
- Q6.** 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.
- Q7.** Définir la vitesse volumique de disparition v_D de l'érythrosine en utilisant la notation $[E]$.
- Q8.** Déterminer, graphiquement en complétant la figure 2 en **ANNEXE A RENDRE AVEC LA COPIE**, la valeur de la vitesse volumique de disparition de l'érythrosine E à la date $t = 0 \text{ s}$. Décrire la méthode utilisée.

L'exploitation de la courbe de la figure 2 permet d'obtenir la figure 3 ci-dessous.

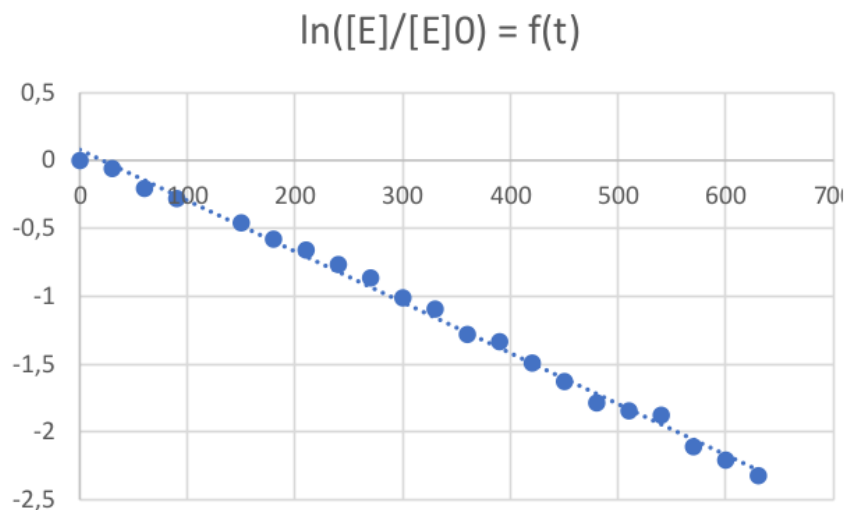


FIG. 3 : $\ln\left(\frac{[E]}{[E]_0}\right)$ en fonction de t

- Q9.** En utilisant cette figure 3, montrer, en explicitant la démarche, que l'évolution de la concentration en érythrosine suit une loi de vitesse 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 :

$$\frac{d[E]}{dt} + k \times [E] = 0.$$

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

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

Q10. Montrer que le temps de demi-réaction $t_{1/2}$ pour une loi de vitesse d'ordre 1 est donné par la relation :

$$t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{k}$$

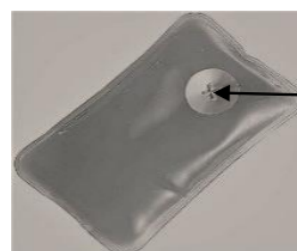
Q11. Déterminer, graphiquement en utilisant la figure 2 en **ANNEXE A RENDRE AVEC LA COPIE**, la valeur de $t_{1/2}$ en indiquant la méthode utilisée.

Conclure quant à la rapidité de l'action de l'eau de Javel sur l'érythrosine.

EXERCICE 3 (4 points) ÉTUDE D'UNE CHAUFFERETTE

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.



Pastille
métallique

Photographie d'une chaufferette commerciale

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.

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 :

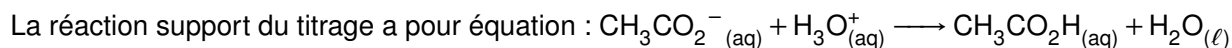
- masse molaire de l'éthanoate de sodium ($\text{Na}^+ ; \text{CH}_3\text{CO}_2^-$) : $M = 82,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
- concentration maximale de l'éthanoate de sodium dans l'eau (ou solubilité) : $s = 365 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$
- valeurs de la conductivité molaire ionique λ à 25 °C 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 ($\text{Na}^+ ; \text{CH}_3\text{CO}_2^-$) présente dans la chaufferette, on prépare 50,0 mL de solution diluée 25 fois. On note S la solution obtenue

Q1. 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 $V_S = 10,0$ mL de solution S est prélevé puis versé dans un bécher auquel sont ajoutés environ 250 mL d'eau distillée. L'ensemble est alors titré par une solution aqueuse titrante d'acide chlorhydrique de concentration $C = 2,0 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.



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.

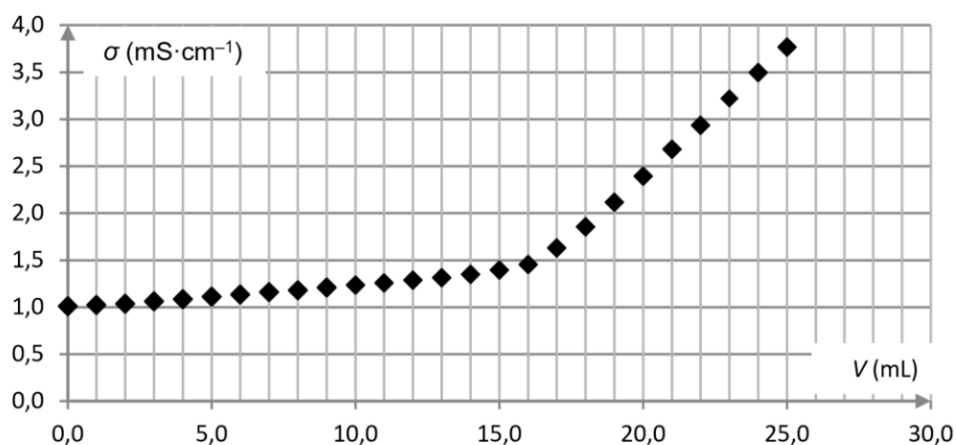


FIG. 1 : Représentation graphique de la conductivité σ de la solution contenue dans le bécher en fonction du volume V versé de solution aqueuse titrante d'acide chlorhydrique

Q2. 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 :

- « reste constante » ;
- « reste négligeable » ;
- « augmente » ;
- « 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
$[\text{Na}^+]$		
$[\text{CH}_3\text{CO}_2^-]$		
$[\text{H}_3\text{O}^+]$		
$[\text{Cl}^-]$		

Q3. En utilisant les conductivités molaires ioniques des espèces présentes, justifier sans calcul l'allure de la courbe de la figure 1.

Q4. Compléter la figure 1 en **ANNEXE A RENDRE AVEC LA COPIE** afin de déterminer le volume équivalent. Donner sa valeur.

Q5. 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.

ANNEXE A RENDRE AVEC LA COPIE

EXERCICE 2 : Question Q8

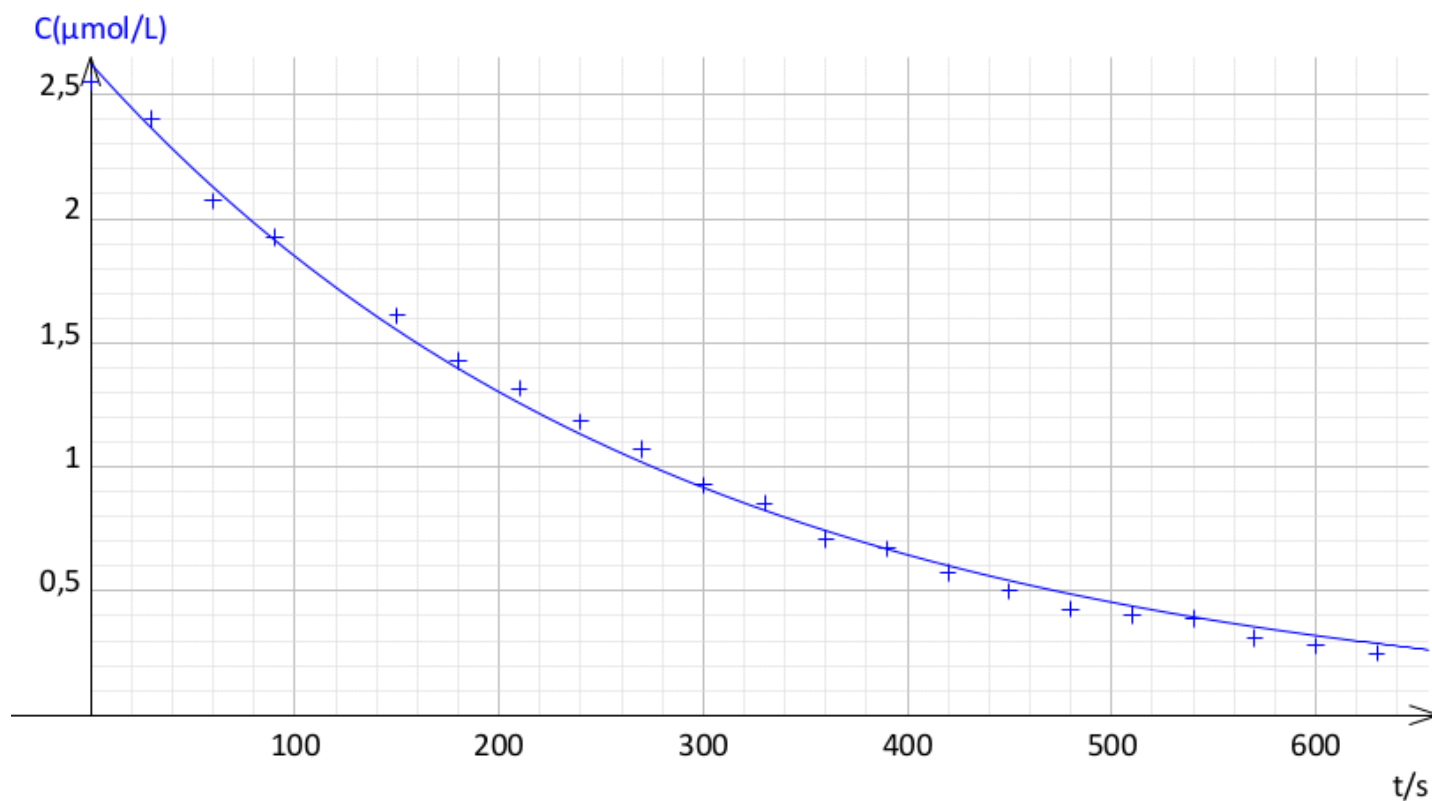
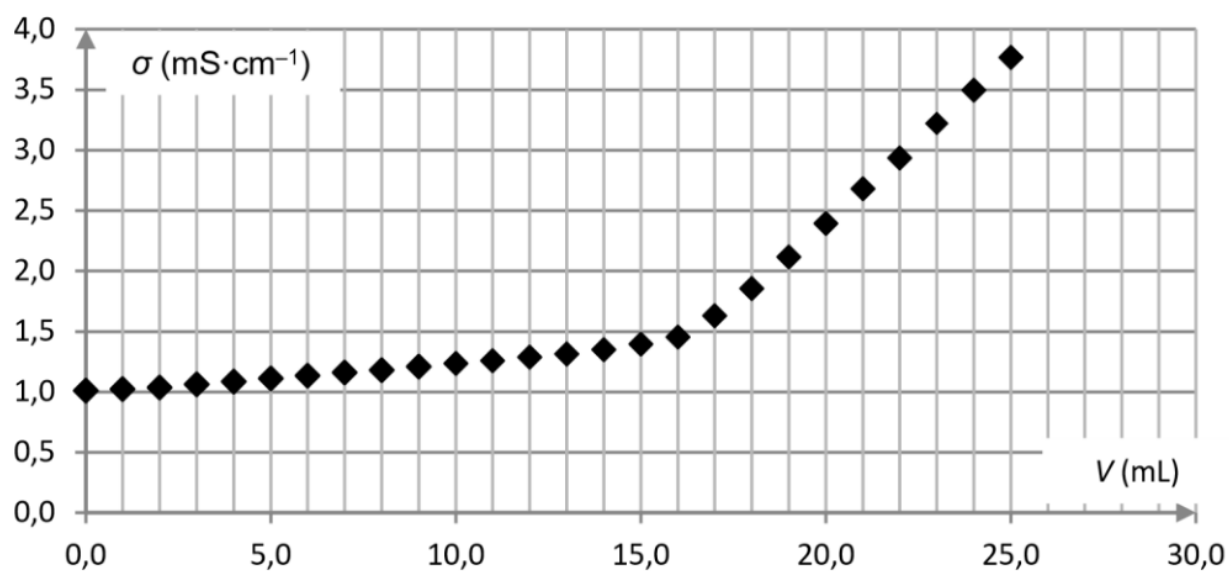


FIG. 2 : Évolution temporelle de la concentration en érythrosine

EXERCICE 3

FIG. 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