BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2023

PHYSIQUE-CHIMIE

JOUR 2

DURÉE DE L'ÉPREUVE : **3 h 30**

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.
L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collège » est autorisé.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Ce sujet comporte 12 pages numérotées de 1/12 à 12/12.

EXERCICE 1 - PLONGEON DE HAUT VOL (11 points)



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 plongeoir*
> 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 plongeoir supposé galiléen.

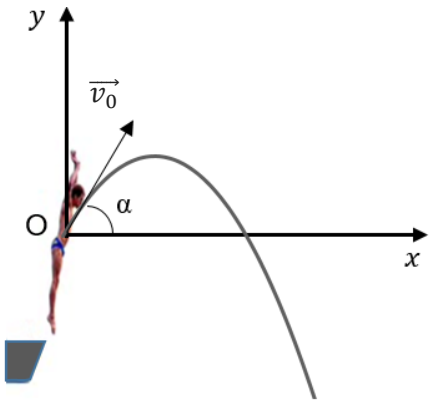
Dans tout l'exercice, la rotation du plongeur sur lui-même est négligée.

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 à la date $t = 0$ caractérisée par le vecteur vitesse initiale $\overrightarrow{v_0}$ 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

Figure 1- Schéma et coordonnées du centre de masse P du plongeur

Données

- Masse du plongeur $m = 70{,}0\ \text{kg}$
- 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
.....
18 # ================================================================================
19 #   Calcul des coordonnées vx, vy et de la valeur v du vecteur vitesse
20 # ================================================================================
21 N = len(t) # Nombre de positions
22 vx,vy,v = [],[],[] # Définitions de listes vides pour vx,vy et v
23 for i in range(N-1) :
24     vxi=(x[i+1]-x[i])/(t[i+1]-t[i])     # coordonnée selon x du vecteur vitesse au point i
25     vyi=(y[i+1]-y[i])/(t[i+1]-t[i])     # coordonnée selon y du vecteur vitesse au point i
26     vi=(vxi**2+vyi**2)**0.5                 # valeur du vecteur vitesse au point i
27     vx.append(vxi)
28     vy.append(vyi)
29     v.append(vi)
30 # ================================================================================
31 #  Calcul des grandeurs énergétiques
32 # ================================================================================
33 m = 70  # Masse en kg
34 Epp,Ec,Em = [],[],[]    # Définitions de listes vides pour Epp, Ec et Em
35 for i in range(N-1) :
36     Eppi=                          # expression de l'énergie potentielle au point i
37     Eci=(1/2)*m*v[i]**2            # expression de l'énergie cinétique au point i
38     Emi=                           # expression de l'énergie mécanique au point i
39     Epp.append(Eppi)
40     Ec.append(Eci)
41     Em.append(Emi)
```

Ligne 36 →

Ligne 38 →

Figure 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 $y = 0\ \text{m}$.

1. 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).

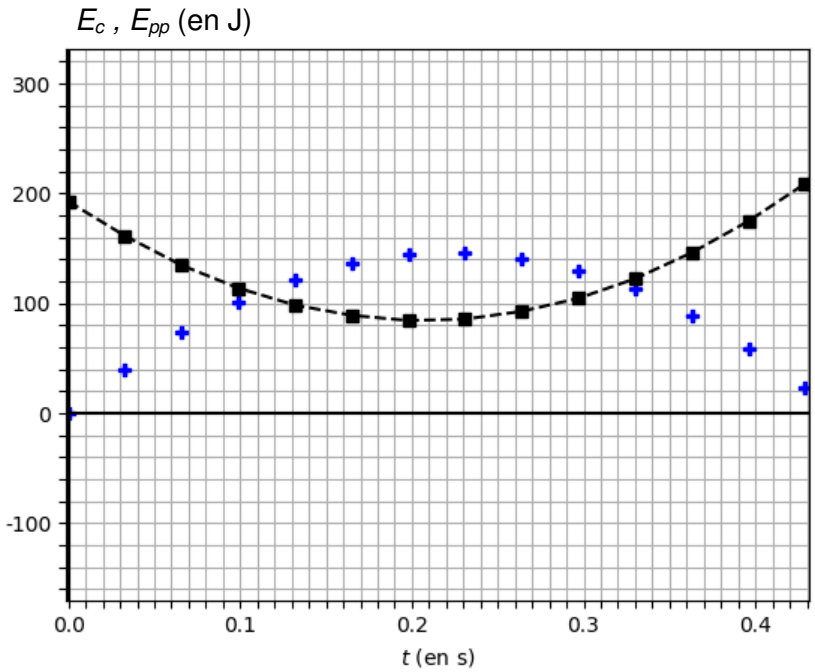


Figure 3 - Évolution des énergies cinétique et potentielle au tout début du saut

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

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

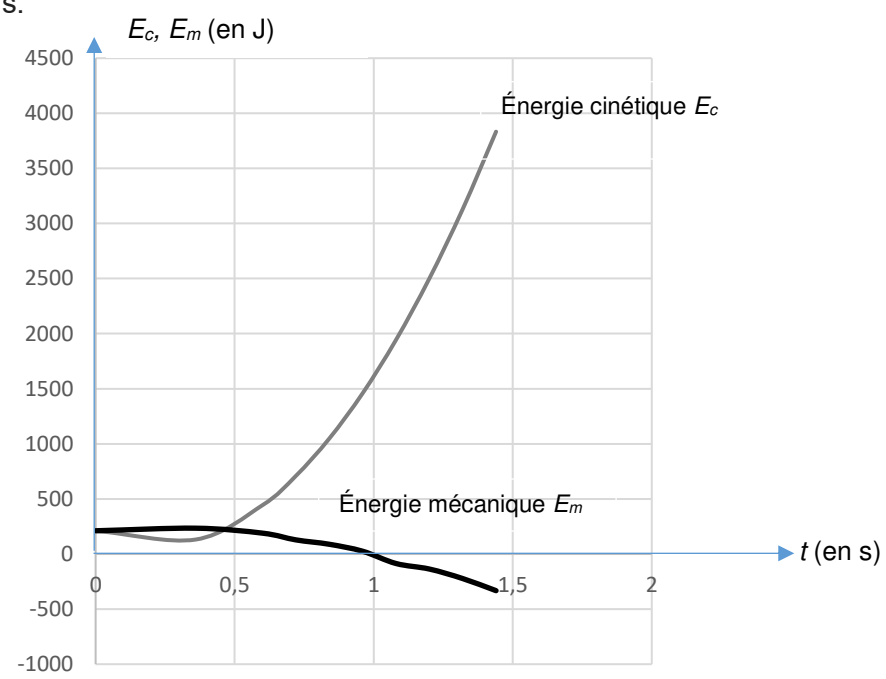


Figure 4 – Évolution des énergies cinétique et mécanique

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

4. Pour chacune des deux phases, $t \leq 0{,}4\ s$ puis $t > 0{,}4\ s$, préciser si les frottements sont négligeables ou non. Justifier.

5. 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.

6. En utilisant des valeurs du tableau de données (**figure 1)**, calculer les valeurs de v_{0x} et v_{0y}, coordonnées du vecteur vitesse initiale $\overrightarrow{v_0}$ à la date t = 0 s, en appliquant les instructions des lignes 24 et 25 du code Python (**figure 2**).

7. À partir des valeurs de v_{0x} et v_{0y}, vérifier que la valeur de l'angle α est de l'ordre de $\alpha = 50°$.

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

8. 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.

9. 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.

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

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

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

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

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

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

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

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

13. 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.

14. 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 m·s^{-1}.

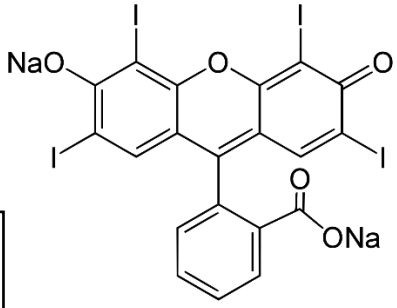
15. Indiquer si la valeur v_{th} obtenue à la **question 14** est en accord ou non avec la valeur citée dans l'article introductif.

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

16. 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 – L'ÉRYTHROSINE, COLORANT ALIMENTAIRE (4,5 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.



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.

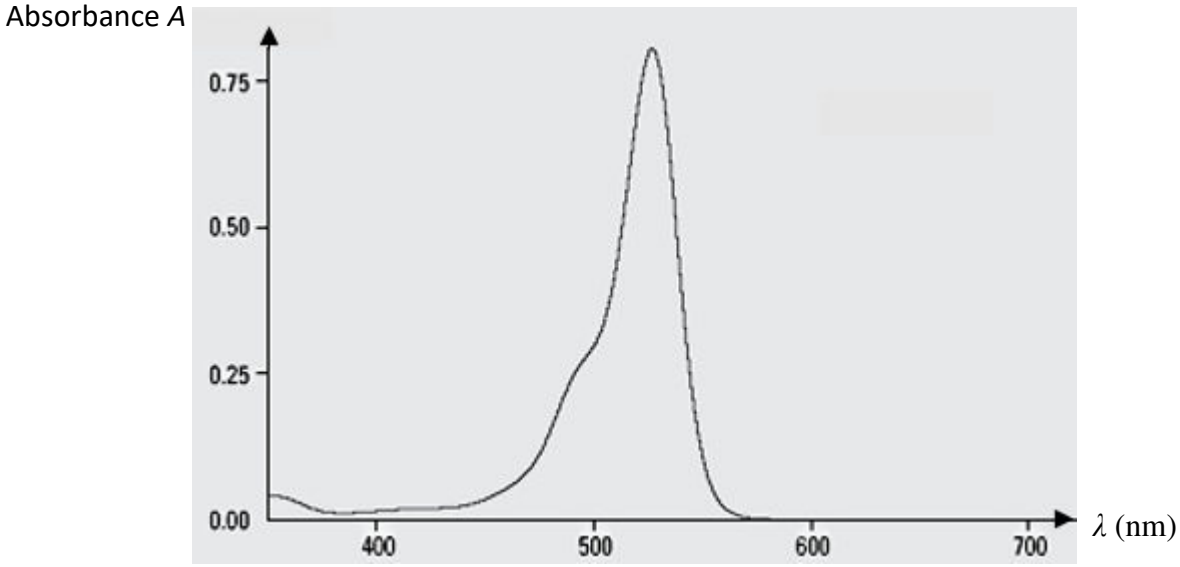


Figure 1 - **Spectre d'absorption d'une solution aqueuse d'érythrosine**

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

On note $[\mathrm{E}]$ 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

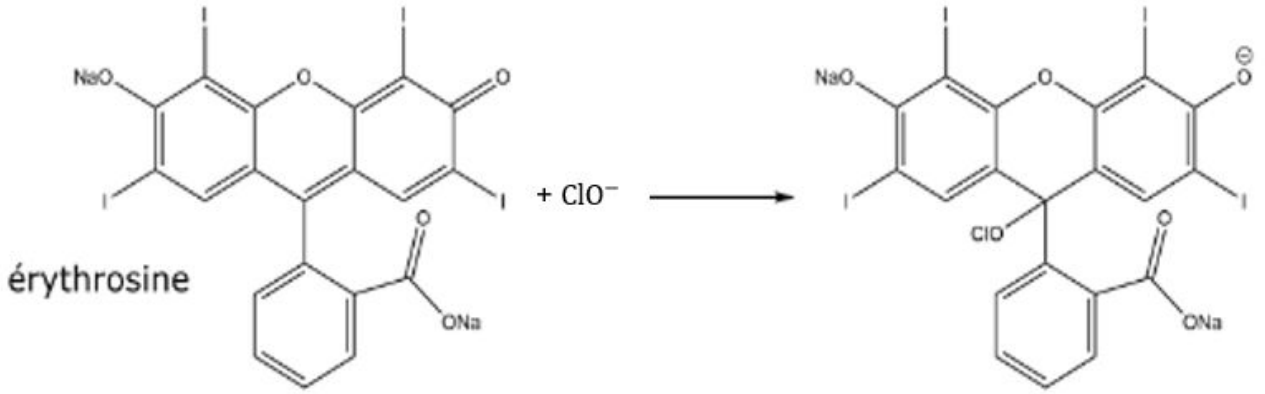
1. Proposer une valeur de la longueur d'onde λ_m à laquelle régler le spectrophotomètre.
2. À partir de la loi de Beer-Lambert, montrer que la mesure de l'absorbance de la solution étudiée permet de déterminer la concentration en érythrosine.

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

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

$$\underset{\text{rouge}}{\text{E(aq)}} + \underset{\text{incolore}}{\text{ClO}^-\text{(aq)}} \rightarrow \underset{\text{incolore}}{\text{P(aq)}} \qquad \textbf{(équation 1)}$$

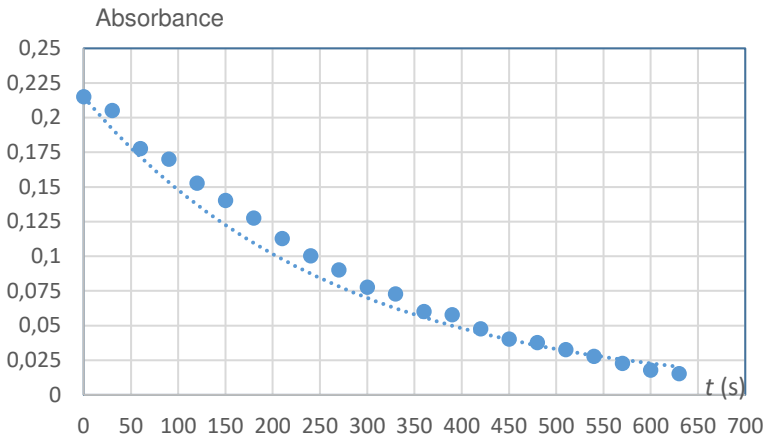
On s'intéresse à la rapidité avec laquelle l'eau de Javel permet d'effacer les taches d'érythrosine, dans le cas où l'ion hypochlorite est en excès.

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 mL de solution S_0 que l'on verse dans une fiole jaugée de volume V_j = 100 mL et on complète jusqu'au trait de jauge. On obtient ainsi une solution S_1 de volume V_j = 100 mL.

À la date t = 0 s, on mélange V_1 = 5 mL de solution S_1 avec V_E = 5 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 tableur :

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

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

5. Montrer que la concentration de la solution S_1 en ion hypochlorite $\mathrm{ClO^-}$ est $C_1 = 3{,}1\times10^{-1}$ mol·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 v de l'érythrosine en utilisant la notation $[\mathrm{E}]$.
8. Donner l'expression de la vitesse volumique de disparition v de l'érythrosine en fonction de la concentration $[\mathrm{E}]$ 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 $[\mathrm{E}]$ est donc : $\frac{\mathrm{d}[\mathrm{E}]}{\mathrm{d}t} + k \times [\mathrm{E}] = 0$. Les solutions de cette équation différentielle sont de la forme :

$$[\mathrm{E}](t) = [\mathrm{E}]_0\ \mathrm{e}^{-kt}$$

Par ailleurs, on rappelle que, pour la fonction logarithme népérien, on a les relations :

$$\ln(a \times b) = \ln(a) + \ln(b) \qquad \text{et} \qquad \ln \mathrm{e}^{x} = x$$

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.

EXERCICE 3 - L'ACÉTANILIDE, MÉDICAMENT ANTIPYRÉTIQUE (4,5 points)

L'acétanilide est un composé organique, solide, blanc, obtenu par l'action de l'anhydride éthanoïque $(CH_3CO)_2O$ sur l'aniline $C_6H_5NH_2$, et utilisé en pharmacologie. Sa formule semi-développée est donnée **figure 1** ci-dessous.

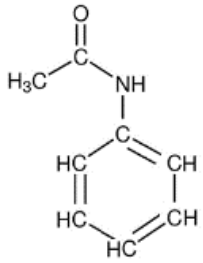


Figure 1 - Formule semi-développée de l'acétanilide

Cette molécule est obtenue selon la réaction d'équation :

$$(CH_3CO)_2O + C_6H_5NH_2 \rightleftarrows CH_3\text{-}CO\text{-}NH\text{-}C_6H_5 + CH_3CO_2H \qquad (\textbf{équation 1})$$

Le but de l'exercice est d'étudier trois protocoles expérimentaux afin de déterminer les conditions optimales d'obtention de l'acétanilide $CH_3\text{-}CO\text{-}NH\text{-}C_6H_5$.

Pour simplifier, les différents composés sont notés par des lettres :

A = $(CH_3CO)_2O$	anhydride éthanoïque	C = $CH_3\text{-}CO\text{-}NH\text{-}C_6H_5$	acétanilide
B = $C_6H_5NH_2$	aniline	D = CH_3CO_2H	acide éthanoïque

Données

- Masse volumique de l'anhydride éthanoïque : ρ_A = 1,08 g·mL^{-1}
- Masse molaire de l'anhydride éthanoïque : M_A = 102,09 g·mol^{-1}
- Masse volumique de l'aniline : ρ_B = 1,02 g·mL^{-1}
- Masse molaire de l'aniline : M_B = 93,13 g·mol^{-1}
- Masse molaire de l'acétanilide : M_C = 135,17 g·mol^{-1}

- Nombres d'onde et allure des bandes d'absorption de quelques liaisons :

Liaisons	Nombre d'onde (cm^{-1})	Intensité bande(s)
O-H (alcool)	3200-3400	Forte et large
C=O (aldéhyde)	1720-1740	Forte et fine
C=O (cétone)	1705-1725	Forte et fine
C=O (amide)	1650-1700	Intense
C=O (ester)	1700-1740	Forte et fine
C-O (alcool-acide-ester)	1050-1450	Forte
N-H (amide)	3100-3500	Forte

La molécule d'acétanilide

1. Représenter la formule topologique de l'acétanilide. Identifier la famille fonctionnelle à laquelle l'acétanilide appartient parmi les suivantes : alcool, aldéhyde, cétone, amide, ester.

2. Montrer que le spectre infrarouge de l'acétanilide (**figure 2** ci-dessous) permet de confirmer que l'acétanilide appartient bien à cette famille fonctionnelle.

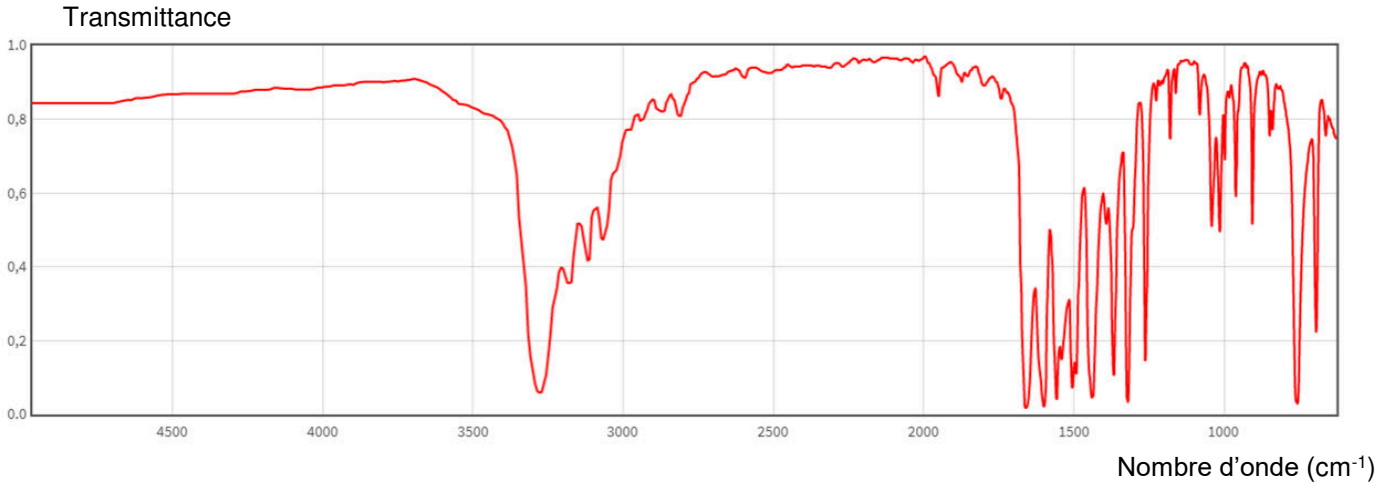


Figure 2 - Spectre infrarouge de l'acétanilide

Protocoles expérimentaux

On met en œuvre trois protocoles expérimentaux différents, présentés **figure 3** ci-dessous, afin d'étudier les conditions optimales de synthèse de l'acétanilide.
Les réactifs sont introduits dans un ballon adapté aux montages des protocoles 1, 2 ou 3.
Après une vingtaine de minutes, le mélange est refroidi dans un bain d'eau glacée afin de faire précipiter le produit C obtenu.
On filtre ensuite le mélange, on le rince à l'eau distillée, puis les cristaux obtenus sont séchés à l'étuve. On pèse ensuite le produit C.

Numéro du protocole	**1**	**2**	**3**
Montage utilisé	Chauffage à reflux	Chauffage à reflux adapté d'un montage DEAN-STARK*	Chauffage à reflux
Volume du réactif **A** (mL) $(CH_3CO)_2O$	15,0	15,0	30,0
Volume du réactif **B** (mL) $C_6H_5NH_2$	14,5	14,5	14,5
Masse m_C du produit **C** (g) CH_3-CO-NH-C_6H_5	10,7	21,4	14,3
Rendement *r*		1,0	0,67

Figure 3 – Récapitulatif des différents protocoles

(*) Un montage DEAN-STARK est un montage qui permet d'éliminer un produit au cours de sa formation.

Etude du protocole 1

3. Montrer que, dans le cas du protocole **1**, les réactifs sont introduits dans le ballon en proportions stœchiométriques.

La constante d'équilibre *K* associée à l'**équation 1** a pour valeur *K* = 1,0 à la température de l'expérience.

Par ailleurs, on admet que, dans les conditions de l'expérience, le quotient de réaction $Q_R(x)$ s'écrit, pour un avancement x donné :

$$Q_R(x) = \frac{n(\mathrm{C}) \times n(\mathrm{D})}{n(\mathrm{A}) \times n(\mathrm{B})}$$

$n(\mathrm{X})$ désigne la quantité de matière (en mol) de l'espèce X.

4. Donner la valeur du quotient de réaction initial, $Q_R(x = 0)$, pour le protocole **1**.

5. En déduire le sens d'évolution spontanée de la réaction chimique d'**équation 1**.

6. Recopier et compléter le tableau d'avancement de la réaction de formation de l'acétanilide.

	Avancement x	$(CH_3CO)_2O$ +	$C_6H_5NH_2$ ⇄	CH_3-CO-NH-C_6H_5 +	CH_3CO_2H
État initial	x = 0	$n(\mathrm{A})_i$	$n(\mathrm{B})_i$	0	0
État final	x_f				

7. Déterminer la masse maximale théorique m_{max} de produit C qui serait obtenue si la réaction était totale pour le protocole **1**.

8. Exprimer le rendement *r* de la réaction pour le protocole **1** en fonction de m_C (voir **figure 3**) et de m_{max}. Calculer sa valeur.

9. Exprimer le quotient de réaction $Q_R(x = x_f)$ à l'état final pour le protocole **1** en fonction de l'avancement final x_f.

10. Calculer la valeur de $Q_R(x = x_f)$ et, à partir de cette valeur, indiquer si l'état d'équilibre est atteint.

Les protocoles 2 et 3

11. Expliquer pourquoi la mise en œuvre des protocoles **2** et **3** permet d'optimiser le rendement.

Bilan

12. Indiquer le protocole le plus intéressant parmi les trois en justifiant.