

EXERCICE 1. Tour Montparnasse (11 points)

Du haut de ses 210 m et 59 étages, la tour Montparnasse est le plus grand gratte-ciel de la ville de Paris. Elle fera peau neuve d'ici peu : jardins, façades végétalisées, panneaux photovoltaïques, nouveau vitrage transparent et isolant. La future tour devrait à la fois changer d'aspect et améliorer ses performances énergétiques.

Cet exercice propose d'étudier, dans un premier temps, le mouvement d'un des ascenseurs équipant la tour. Il portera ensuite sur deux des mesures visant à améliorer les performances énergétiques du bâtiment.



1. Mouvement du grand ascenseur

L'objectif de cette première partie est d'étudier le mouvement du plus grand ascenseur de la tour, qui relie le rez-de-chaussée, pris comme référence d'altitude, au 56^e étage. On étudie le mouvement, dans le référentiel terrestre supposé galiléen, du centre d'inertie de l'ascenseur dans le champ de pesanteur considéré comme uniforme. Le point O confondu avec le centre de masse de l'ascenseur lorsqu'il se situe au rez-de-chaussée sera pris comme origine d'un axe Oz orienté positivement vers le haut.

Données :

- loi fondamentale de la statique des fluides : $P_B - P_A = \rho \cdot g \cdot (z_A - z_B)$
avec : P_A, P_B : pression du fluide en deux points A et B (en Pa) ;
 ρ : masse volumique du fluide (en $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) ;
 g : intensité de la pesanteur (en $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$) ;
 z_A, z_B : altitude des points A et B (en m) ;
- intensité de la pesanteur terrestre : $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$;
- masse molaire de l'air dans les conditions de l'expérience : $M = 28,98 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- constante des gaz parfaits : $R = 8,314 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$;
- relation entre la température exprimée en kelvin et la température exprimée en degré Celsius : $T(\text{K}) = \theta(^{\circ}\text{C}) + 273,15$.

On se propose, dans un premier temps, de vérifier la hauteur parcourue par l'ascenseur lors d'un trajet, à partir d'un suivi de la pression atmosphérique réalisé grâce à un smartphone. On considère que l'air suit le modèle du gaz parfait. Les mesures obtenues permettent de tracer la courbe suivante.

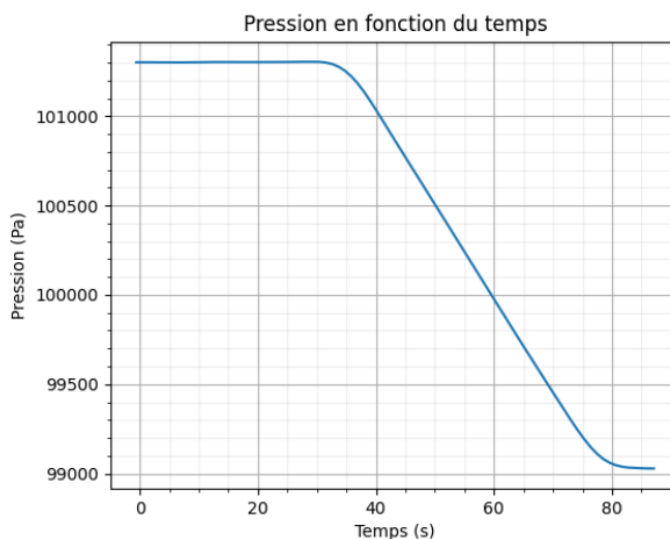


Figure 1. Courbe représentant l'évolution de la pression au cours d'un voyage dans le grand ascenseur
Source : mesures réalisées par l'auteur de l'exercice

- Q1.** À l'aide de la figure 1, justifier qualitativement que l'ascenseur monte lors de l'expérience.
- Q2.** Exprimer l'équation d'état d'un gaz parfait, en précisant la signification et les unités des différentes grandeurs.

Le jour de l'expérience, la température était égale à 25,0 °C.

- Q3.** À l'aide de la question précédente, montrer que la valeur de la masse volumique de l'air au pied de la tour le jour de l'expérience est $\rho_{air} = 1,184 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.
- Q4.** Montrer que la hauteur h atteinte par l'ascenseur à la fin de son trajet est telle que :

$$h = \frac{P_1 - P_2}{\rho_{air} \cdot g} \quad \text{avec } P_1 \text{ et } P_2 \text{ les pressions respectivement au pied et au sommet de la tour.}$$

- Q5.** Calculer la hauteur h atteinte par l'ascenseur à la fin du trajet. Commenter.

En plus de l'altitude finale de l'ascenseur, il peut être utile de connaître son altitude au cours du trajet. Cette donnée permet effectivement d'accéder à la vitesse de l'appareil, puis à son accélération. Les différentes opérations utiles sont réalisées ici à l'aide du programme en langage Python qui suit. Il contient, aux lignes 3 et 4, les 86 couples de valeurs (temps ; pression atmosphérique) enregistrés par le smartphone lors de la montée.

```

1 import matplotlib.pyplot as plt
2 #données expérimentales
3 t=[-0.58, 0.43, ---, 86.01, 87.08] # valeurs du temps
4 p=[101302.07, 101302.09, ---, 99028.37, 99028.04] # valeurs de pression
5
6 #initialisation des variables
7 z,v,a=[],[],[] #initialisation des listes z,v,a
8 rhoair,g=1.184,9.81#masse volumique de l'air, intensité de la pesanteur
9 #calculs des valeurs de z, v et a
10 for i in range (len(t)-1): # calcul de l'altitude
11     zcalcul=(p[0]-p[i+1])/(rhoair*g)
12     z.append(zcalcul)
13
14 for i in range (len(z)-1): # calcul de la vitesse
15     vcalcul=(z[i+1]-z[i])/(t[i+1]-t[i])
16     v.append(vcalcul)
17
18 for i in range (len(v)-1): # calcul de l'accélération
19     acalcul=(
20     a.append(accelcul)

```

- Q6.** Recopier puis compléter la ligne 19 du script Python ci-dessus pour calculer les valeurs de l'accélération.
- Q7.** Indiquer, en justifiant, le nombre de valeurs de l'accélération calculées par le programme.

La suite du programme permet de tracer les courbes des figures 2 et 3, représentant l'évolution de la vitesse et de l'accélération de l'ascenseur au cours du trajet étudié.

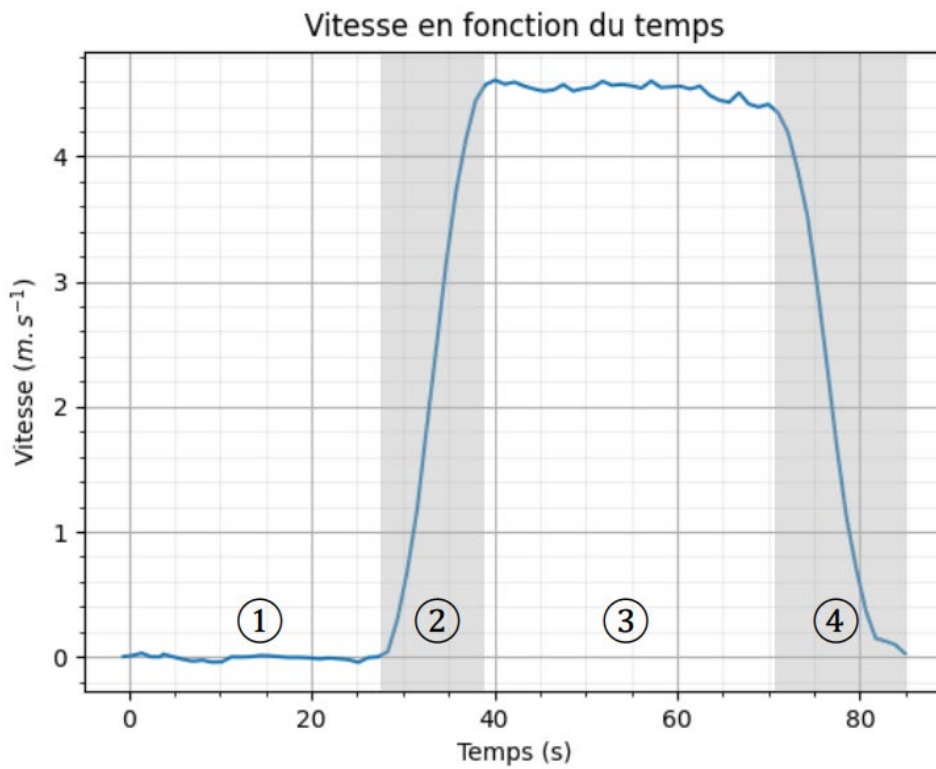


Figure 2. Évolution de la vitesse de l'ascenseur lors de la montée étudiée

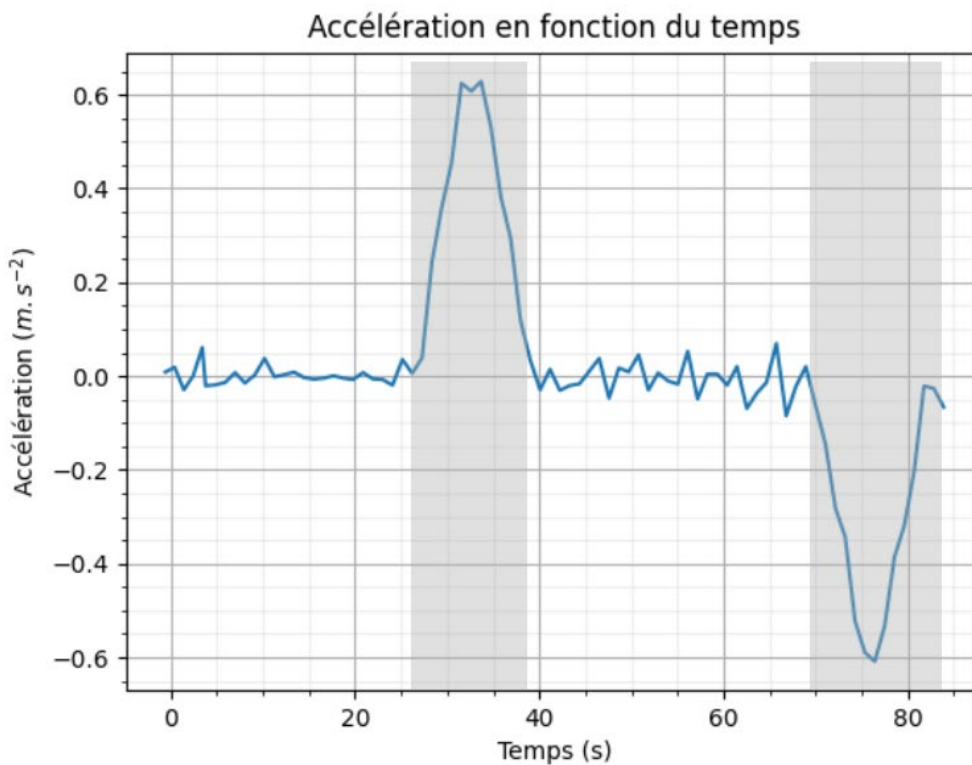
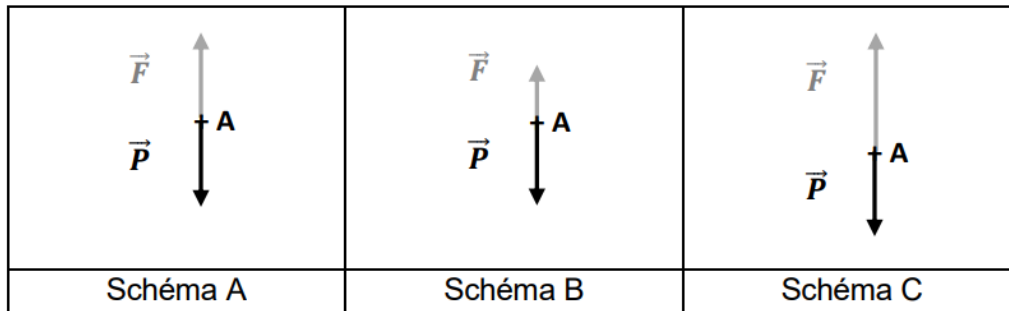


Figure 3. Évolution de la composante verticale de l'accélération de l'ascenseur lors de la montée

- Q8.** Décrire le mouvement de l'ascenseur dans le référentiel terrestre supposé galiléen lors des quatre phases identifiées sur la figure 2.
- Q9.** Justifier que la courbe d'accélération donnée en figure 3 est cohérente avec ces quatre phases.

Les schémas ci-dessous représentent les forces s'exerçant sur l'ascenseur, \vec{P} correspondant au poids et \vec{F} à l'ensemble des autres forces verticales telles que la force élévatrice et les différentes forces de frottement (air, freinage).



Q10. Associer, en justifiant, un schéma à chaque phase du mouvement identifiée sur la figure 2.

Q11. À l'aide de la deuxième loi de Newton et de la figure 3, estimer la valeur maximale de F , en supposant que l'ascenseur vide pèse 2,0 tonnes et qu'il peut accueillir 21 personnes.

Le candidat est évalué sur ses capacités à concevoir et à mettre en œuvre une démarche de résolution. Toutes les prises d'initiative et toutes les tentatives de résolution, même partielles, seront valorisées.

2. Installation de panneaux solaires

D'après la mission régionale d'autorité environnementale d'Île-de-France, la tour Montparnasse consomme aujourd'hui au total $35,75 \text{ GW}\cdot\text{h}\cdot\text{an}^{-1}$.

Lors de la rénovation de la tour, on pourrait envisager de recouvrir la terrasse avec des panneaux photovoltaïques placés horizontalement.

Données :

- surface de la terrasse : $S = 1\,700 \text{ m}^2$;
- dimensions du panneau photovoltaïque rectangulaire : 1,980 m par 1,002 m ;
- caractéristiques du panneau photovoltaïque pour une irradiance $I = 1,0 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$:

Tension à la puissance maximale $U_{P_{\max}}$	38,4 V
Intensité à la puissance maximale $I_{P_{\max}}$	9,38 A

- puissance du rayonnement lumineux reçue par un panneau : $P_{\text{ray}} = I \cdot S$ où I est l'irradiance de la lumière, en $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ et S la surface du panneau, en m^2 ;
- le rendement r d'un panneau photovoltaïque est égal au quotient de la puissance électrique $P_{\text{élec}}$ générée par le panneau par la puissance rayonnante P_{ray} reçue :

$$r = \frac{P_{\text{élec}}}{P_{\text{ray}}} ;$$

- $1 \text{ W}\cdot\text{h} = 3\,600 \text{ J}$

Q12. Montrer que la puissance électrique maximale que peut fournir ce panneau photovoltaïque est proche de 360 W, pour une irradiance $I = 1,0 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$.

Q13. En déduire que le rendement du panneau est $r \approx 18 \%$.

À Paris, l'énergie rayonnante solaire annuelle moyenne est d'environ $1\,300\text{ kW}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-2}$.

Q14. Estimer, avec la valeur du rendement du panneau déterminée à la question Q13, la valeur de l'énergie électrique que pourrait fournir l'installation de panneaux sur l'ensemble de la terrasse de la tour en une année. Commenter.

3. Rénovation énergétique de la tour Montparnasse.

La surface vitrée de la tour Montparnasse est d'environ $40\,000\text{ m}^2$. Les fenêtres de la tour sont en simple vitrage dont l'épaisseur est de 4 mm de verre. Elles vont être remplacées par des fenêtres à double vitrage pour augmenter la performance énergétique du bâtiment.

Données :

- la résistance thermique de conduction R_c (en $\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$) d'un matériau est liée aux grandeurs e , λ et S par la relation :

$$R_c = \frac{e}{S \times \lambda}$$

λ : conductivité thermique du matériau en $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$;

e : épaisseur de la paroi en m ;

S : surface de la paroi en m^2 ;

- conductivité thermique de divers matériaux :

Matériau	air au repos	verre	bois	PVC	aluminium
Conductivité thermique λ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)	0,026	1,0	0,13	0,17	185

Q15. Citer les trois modes de transfert thermique.

Dans la modélisation suivante, on considère qu'une fenêtre est exclusivement constituée par son vitrage. La conductivité thermique du cadre est négligée.

Q16. Calculer la valeur de la résistance thermique de conduction R_c pour une surface de $1,00\text{ m}^2$ de simple vitrage.

La résistance thermique globale R_g modélise l'ensemble des transferts thermiques du vitrage. Elle est liée au coefficient de transmission thermique $U_g = \frac{1}{R_g \cdot S}$ dont la valeur pour ce vitrage est égale à $5,75\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$.

Q17. Calculer la valeur de la résistance thermique globale R_g pour une surface de vitrage de $1,00\text{ m}^2$. Commenter.

On considère que la température à l'intérieur de la tour Montparnasse est maintenue constante à $20,0\text{ }^\circ\text{C}$. L'analyse des données publiques de Météo France montre que la température extérieure a été inférieure à $20,0\text{ }^\circ\text{C}$ pendant 279 jours à Paris en 2023. La température extérieure moyenne durant cette période a été de $11,3\text{ }^\circ\text{C}$.

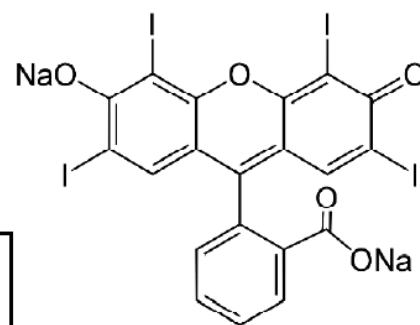
Q18. Déterminer la valeur du flux thermique à travers une surface $S = 1,00\text{ m}^2$ de fenêtre à simple vitrage pour une température de $11,3\text{ }^\circ\text{C}$.

Q19. Estimer la valeur de l'énergie économisée sur une année en GW·h si on remplace le simple vitrage par du double vitrage de coefficient de transmission thermique $U_{g \text{ double}} = 1,15 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ en utilisant les données météorologiques de 2023. Commenter.

Le candidat est évalué sur ses capacités à concevoir et à mettre en œuvre une démarche de résolution. Toutes les prises d'initiative et toutes les tentatives de résolution, même partielles, seront valorisées.

EXERCICE 2 – L'ÉRYTHROSINE, 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.



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

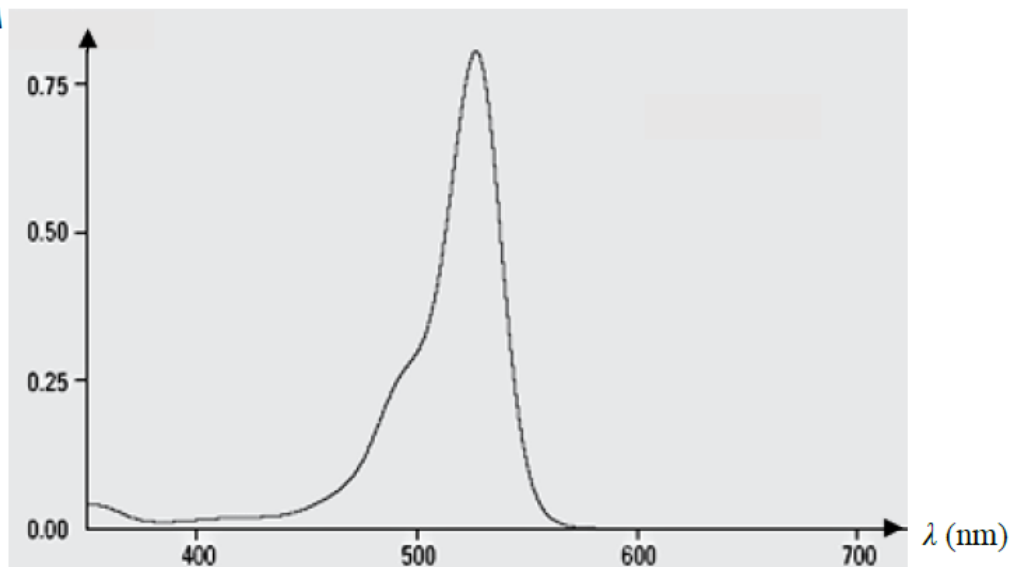


Figure 1 - Spectre d'absorption d'une solution aqueuse d'érythrosine

- 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 :
 $\epsilon = 8,2 \times 10^4 \text{ L}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$
- Longueur de la cuve du spectrophotomètre : $l = 1,0 \text{ cm}$
- Rappel de la loi de Beer-Lambert : $A = \epsilon \times l \times c$
- 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

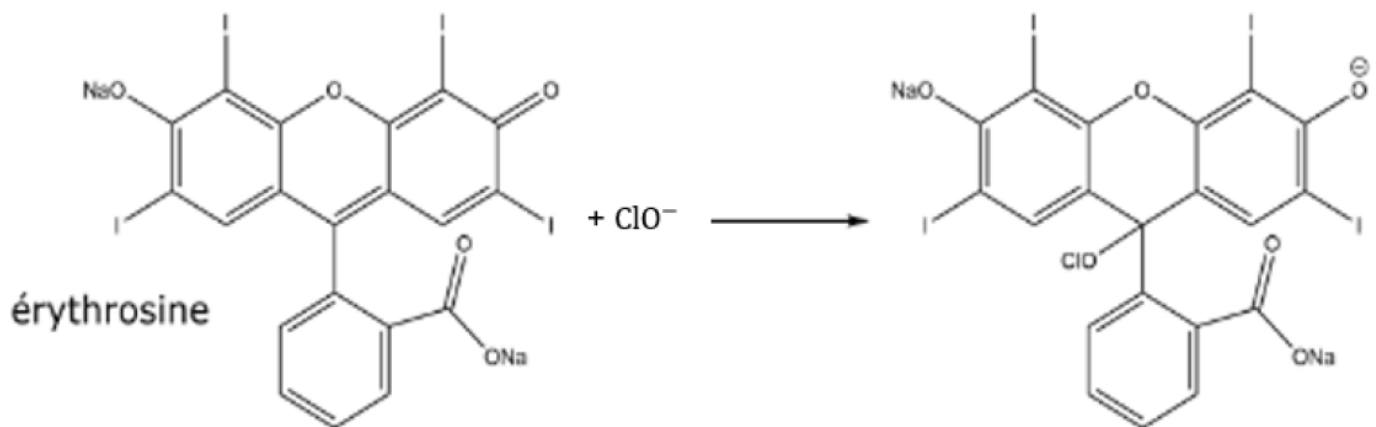
1. Proposer une valeur de la longueur d'onde λ_m à laquelle régler le spectrophotomètre.
2. À partir de la loi de Beer-Lambert, montrer que la mesure de l'absorbance de la solution étudiée permet de déterminer la concentration en érythrosine.

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

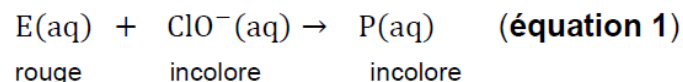
3. Montrer que la concentration de la solution en érythrosine est :
 $[E] = 5,4 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.
4. En s'appuyant sur la valeur de la DJA citée dans le **document** de l'introduction, montrer qu'une personne de 50 kg peut consommer la totalité de la solution contenue dans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



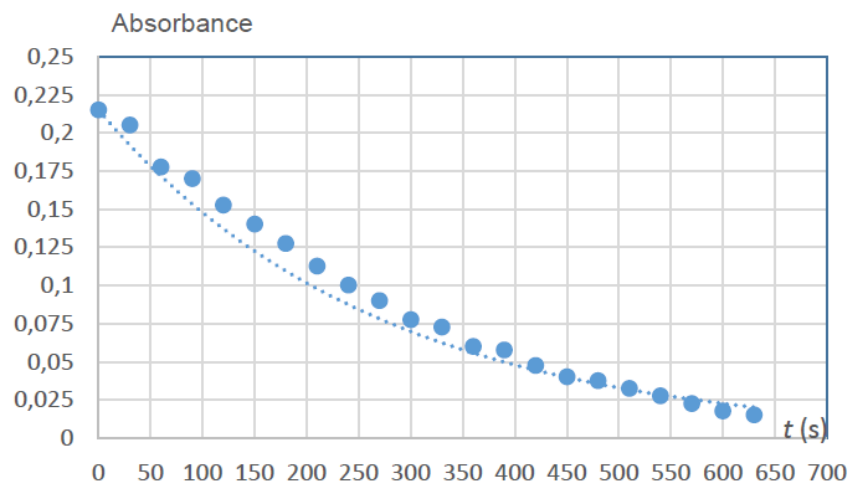
On s'intéresse à la rapidité avec laquelle l'eau de Javel permet d'effacer les taches d'érythrosine, dans le cas où l'ion hypochlorite est en excès.

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 $t = 0$ 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 tableau :

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

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 ClO^- est $C_1 = 3,1 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.
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 v 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 : $\frac{d[E]}{dt} + k \times [E] = 0$. Les solutions de cette équation différentielle sont de la forme :

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

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

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

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.

EXERCICE 3. Étude d'un herbicide (4 points)

Un herbicide, ou dés herbant, est une substance destinée à tuer les végétaux.

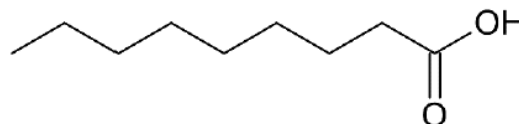
Pendant longtemps, le principe actif utilisé était le glyphosate, mais cette substance toxique, irritante et écotoxique a été classée cancérigène, et est donc remplacée par une autre molécule : l'acide pélargonique.

Le but de cet exercice est de vérifier l'indication de la concentration en masse d'acide pélargonique figurant sur les flacons en vente dans les commerces spécialisés : $43,06 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$.

Données diverses :

- l'acide pélargonique est le nom usuel de l'acide nonanoïque ;

- formule topologique de l'acide pélargonique :



- masse molaire de l'acide nonanoïque : $M = 158 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- masse volumique de la solution d'herbicide : $\rho = 1,00 \times 10^3 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$.

Préfixes de la nomenclature en chimie organique

Nombre d'atomes de carbone	5	6	7	8	9	10	11
Préfixe	Pent	Hex	Hept	Oct	Non	Dec	Undec

Matériels et produits mis à disposition :

- agitateur magnétique avec un barreau aimanté ;
- pH-mètre et conductimètre étalonnés ;
- béchers de volumes divers, éprouvettes (50 mL ; 100 mL et 250 mL), erlenmeyers de volumes divers, burette graduée, fioles jaugées (50,0 mL ; 100,0 mL et 200,0 mL), pipettes jaugées (2,0 mL ; 5,0 mL ; 10,0 mL et 20,0 mL) ;
- solution d'hydroxyde de sodium ($\text{Na}^+(\text{aq}) ; \text{HO}^-(\text{aq})$) de concentration en soluté apporté $C = 1,00 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$;
- herbicide commercial ;
- eau distillée.

Comparaison d'une mesure avec une valeur de référence

Le résultat d'une mesure est considéré en accord avec une valeur de référence si la valeur du quotient z est inférieure ou égale à 2.

avec :

$$z = \frac{|x - x_{ref}|}{u(x)}$$

- x : la valeur mesurée ;
- x_{ref} : la valeur de référence ;
- $u(x)$: l'incertitude-type associée à la mesure de x .

Pour cette expérience, on considère que la concentration en masse d'acide pélargonique est déterminée avec une incertitude-type $u(c_m) = 1,2 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$.

Zone de virage de quelques indicateurs colorés

Indicateur coloré	Zone de virage (pH)	Forme acide	Forme basique
Hélianthine	3,2 – 4,4	Rouge	Jaune
Bleu de bromothymol (BBT)	6,0 – 7,6	Jaune	Bleu
Indicateur TA	8,2 – 9,8	Incolore	Rose

Q1. Justifier le nom « acide nonanoïque » en nomenclature officielle de l'acide pélargonique.

La solution commerciale d'herbicide est trop concentrée pour pouvoir être titrée directement.

Q2. Proposer un protocole permettant de diluer la solution d'un facteur 10 en utilisant le matériel mis à disposition.

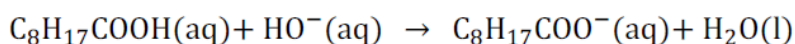
La solution diluée ainsi obtenue est notée « solution S ».

On réalise un dosage par titrage acido-basique de l'acide pélargonique contenu dans cette solution par une solution d'hydroxyde de sodium ($\text{Na}^+(\text{aq}) ; \text{HO}^-(\text{aq})$).

Protocole expérimental :

- remplir convenablement la burette avec la solution titrante d'hydroxyde de sodium de concentration $C = 1,00 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$;
- prélever un volume $V_S = 5,0 \text{ mL}$ de solution S et le verser dans un bécher ;
- placer l'électrode du pH-mètre et ajouter un peu d'eau pour l'immerger ;
- ajouter lentement la solution titrante dans le bécher en notant régulièrement les valeurs du pH.

L'équation de la réaction support du titrage est :



La courbe obtenue est donnée en **ANNEXE A RENDRE AVEC LA COPIE**.

Q3. Définir l'équivalence d'un titrage.

Q4. Déterminer la valeur du volume V_E d'hydroxyde de sodium versé à l'équivalence. Faire apparaître la démarche sur le **document-réponse 2 de L'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**.

Q5. Exploiter les résultats pour déterminer la concentration C_{ap} en quantité d'acide pélargonique dans la solution commerciale d'herbicide.

Q6. Vérifier si le résultat de ce titrage est cohérent avec l'indication du fabricant.

Titration colorimétrique

Il est également possible de réaliser un titrage colorimétrique de la solution S à l'aide d'un indicateur coloré.

Q7. Choisir l'indicateur coloré adapté à ce titrage. Justifier.

Q8. Préciser le changement de couleur observé à l'équivalence du titrage.

ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

Document-réponse 2 (exercice 3, question Q4)

Courbe de titrage de $V_S = 5,0$ mL de solution S d'herbicide diluée par une solution d'hydroxyde de sodium de concentration $C = 1,00 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

- En trait plein est représentée l'évolution du pH en fonction du volume V de solution d'hydroxyde de sodium versé.
- En pointillés est représentée l'évolution de la dérivée du pH par rapport au volume V en fonction de ce volume V de solution d'hydroxyde de sodium versé.

