

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2024

Jour 2

PHYSIQUE-CHIMIE

Jeudi 8 février 2024

Durée de l'épreuve : **3 heures 30**

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.

L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collègue » est autorisé.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 13 pages numérotées de 1/13 à 13/13.

Le candidat traite les 3 exercices

EXERCICE 1 – PARKER SOLAR PROBE (10 POINTS)

Le 12 août 2018, la NASA, l'agence spatiale américaine, a lancé en direction du Soleil une sonde spatiale, PSP (Parker Solar Probe), dont la mission est d'étudier la couronne solaire. La sonde PSP doit relever de nombreux défis, notamment atteindre une orbite permettant d'approcher le Soleil de très près.

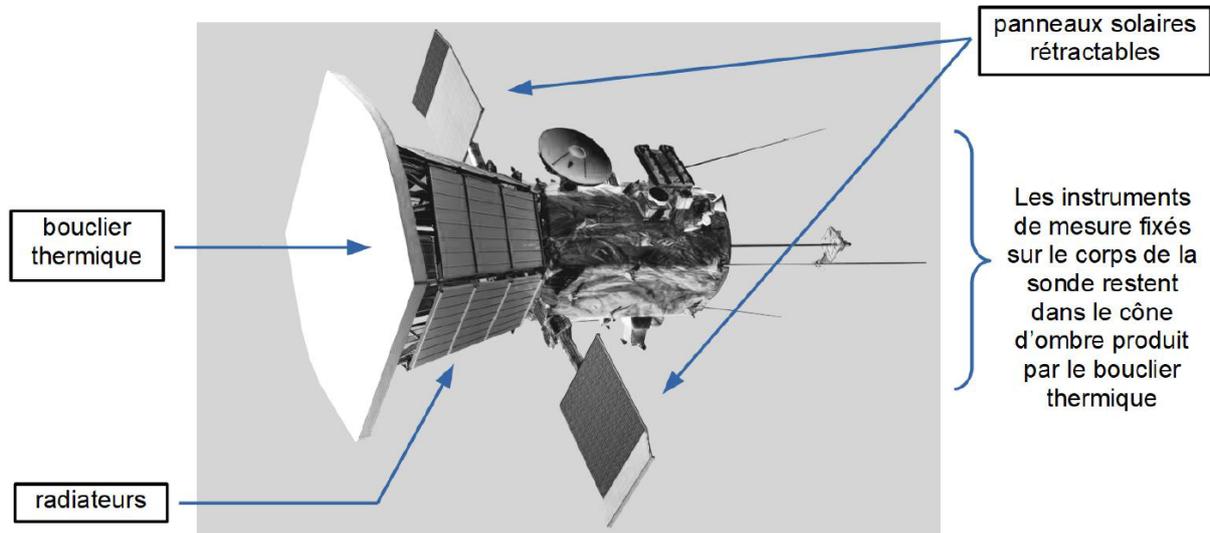


Figure 1 – Sonde *PSP* (Parker Solar Probe)

Source : *blogs.nasa.gov*

Partie 1 – Les caractéristiques orbitales de la sonde

Depuis son lancement le 12 août 2018, la sonde PSP subit des modifications successives de son orbite autour du Soleil du fait de l'assistance gravitationnelle de la planète Vénus. Elle rejoint ainsi progressivement son orbite optimale qui lui permettra de passer au plus près du Soleil début 2025. La sonde effectuera alors quatre passages au périhélie P et pourra enregistrer un maximum de données expérimentales (figure 2 ci-dessous et figure 4 en annexe page 13).

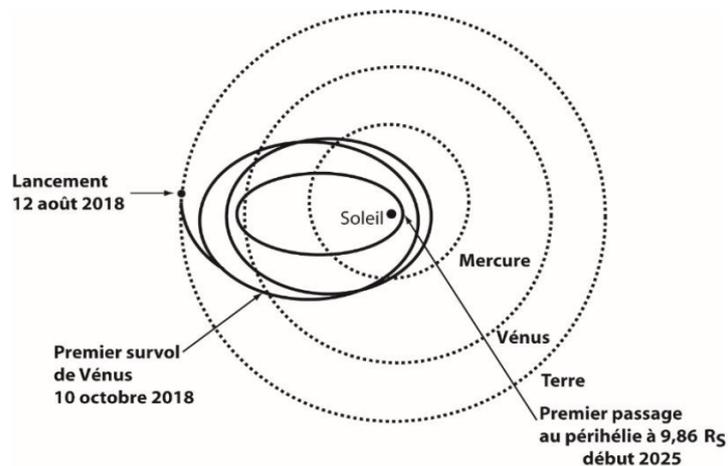


Figure 2 – Parcours de la sonde *PSP*

Source : *blogs.nasa.gov*

Données :

- Masse du Soleil $M_S = 2,0 \times 10^{30}$ kg
- Constante gravitationnelle $G = 6,67 \times 10^{-11}$ m³·kg⁻¹·s⁻²

1. Sur la **figure 4 en ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE** page 13/13, on a représenté l'orbite elliptique que la sonde *PSP* décrira autour du Soleil en 2025. Les points A et P sont respectivement l'aphélie et le périhélie. Le point S représente le centre du Soleil.

1.1. Représenter sur la **figure 4 en ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE** page 13/13 et sans souci d'échelle, la force d'attraction gravitationnelle, notée $\vec{F}_{S \rightarrow PSP}$, modélisant l'action exercée par le Soleil sur la sonde *PSP* lorsqu'elle est au point M.

1.2. En utilisant la 2^{ème} loi de Kepler, comparer la valeur v_P de la vitesse de la sonde au point P à la valeur v_A de la vitesse de la sonde au point A.

2. La NASA prévoit que la valeur v_P de la vitesse de la sonde au point P sera de $192 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ avec une incertitude-type $u(v_P)$ de l'ordre de $5 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$.

On souhaite savoir si cette valeur de la vitesse a été déterminée à l'aide du modèle du mouvement circulaire pour la sonde *PSP* sur son orbite autour du soleil ou si un autre modèle a été utilisé.

On se propose donc de déterminer la valeur v de la vitesse de la sonde *PSP* en supposant que son mouvement est circulaire, de rayon $r = SP = 6,9 \times 10^6 \text{ km}$, afin de la comparer à celle prévue par la NASA (**figure 3**). Le référentiel héliocentrique est considéré comme galiléen.

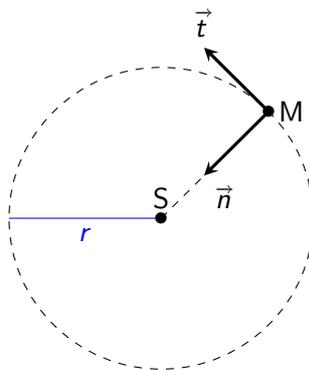


Figure 3 – Modèle du mouvement circulaire de la sonde *PSP* et repère de Frenet

2.1. À l'aide de la 2^{ème} loi de Newton, montrer que, dans le cas d'une trajectoire circulaire, la vitesse v de la sonde *PSP* est constante et a pour expression :

$$v = \sqrt{\frac{G \times M_S}{r}}$$

avec M_S la masse du Soleil et r le rayon de la trajectoire.

2.2. Calculer la valeur v de la vitesse de la sonde *PSP* dans le cadre de ce modèle.

2.3. Apporter une conclusion à la problématique posée dans cette question 2.

La 3^{ème} loi de Kepler lie le demi-grand axe orbital et la période de révolution des systèmes (planète, sonde) en orbite autour du Soleil. On peut ainsi déterminer la période de révolution de la sonde *PSP* autour du Soleil à partir de la mesure du demi-grand axe de sa trajectoire elliptique.

3. En utilisant la 3^{ème} loi de Kepler et après analyse du programme Python figurant ci-après et de ses résultats, déterminer la période de révolution T de la sonde *PSP* autour du Soleil.

Caractéristiques des orbites des planètes et de la sonde PSP autour du soleil

Planète	Mercure	Venus	Terre	Mars	Jupiter	Saturne	Uranus	Neptune	Sonde PSP
Demi-grand axe orbital ($\times 10^3$ km)	57909,23	108209,5	149597,8875	227944	778340	1426700	2870700	4498400	$a = 58210$
Période de révolution (j) (jour)	87,95565	224,667	365,2564	686,885	4332,01	10754	30698	60216,8	T

Le programme Python ci-dessous a été écrit à partir des caractéristiques des orbites des planètes.

```

1 import numpy as np
2 import statsmodels.api as sm
3
4 # Périodes T (en j)
5 T = np.array([ 87.95565, 224.667, 365.256363, 686.885, 4332.01,
6 10754, 30698, 60216.8 ])
7
8 # Demi-grands axes a (en km)
9 a = np.array([ 57909230, 108209500, 149597887.5, 227944000,
10 778340000, 1426700000, 2870700000, 4498400000 ])
11
12 # sm.OLS(y, x) définit un modèle linéaire de la forme y = kx
13 model = sm.OLS(T**2, a**3)
14
15 # model.fit() calcule le coefficient k
16 results = model.fit()
17
18 print("--- Résultats de la modélisation ---\n")
19
20 # Affiche la valeur du coefficient k
21 print(" k=", results.params[0], (" j**2 * km**-3"))

```

Affichage des résultats du programme à l'écran :

```

--- Résultats de la modélisation ---
k= 3.983462498345611e-20 j**2 * km**-3

```

Remarque : la notation $e-20$ signifie 10^{-20}

Partie 2 - Les panneaux photovoltaïques

Durant la mission, les panneaux photovoltaïques de la sonde PSP servent à fournir l'énergie électrique nécessaire au fonctionnement des instruments de mesure embarqués. Ils permettent d'obtenir une puissance électrique utile $P_{el} = 340 \text{ W}$.

En 2025, au plus près du Soleil, ils devront être refroidis. Une puissance thermique $P_{th} = 6000 \text{ W}$ devra alors être évacuée grâce à de l'eau sous pression circulant entre les panneaux photovoltaïques et des radiateurs (**figure 4**).

Données :

- Masse volumique de l'eau liquide dans les conditions de pression et de température de la sonde PSP : $\rho_{eau} = 0,959 \text{ kg}\cdot\text{L}^{-1}$.
- Durée du passage à proximité du Soleil : $\Delta t = 110 \text{ h}$.
- Pression d'eau dans le circuit : 5,0 bar.
- Température d'ébullition de l'eau sous 5,0 bar : $T_{éb} = 150^\circ\text{C}$.
- Capacité thermique massique de l'eau : $c_{eau} = 4185 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$.

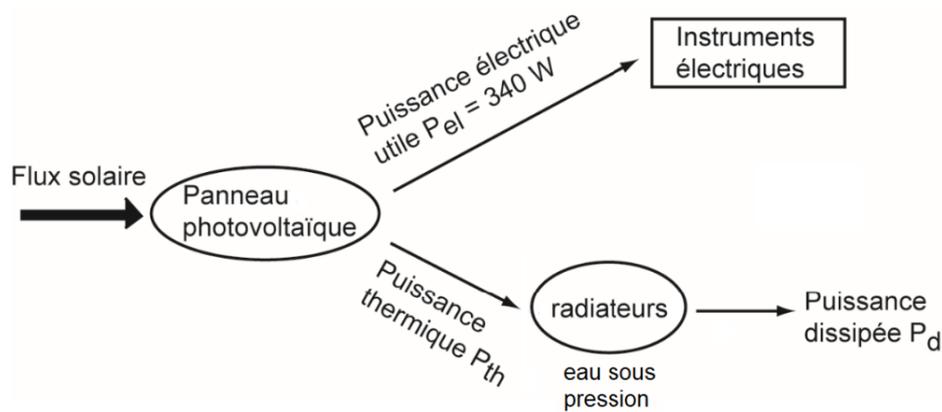


Figure 4 – Diagramme énergétique de l'alimentation électrique de la sonde PSP

Pendant la durée Δt du passage à proximité du Soleil, l'équivalent d'un volume d'eau $V_{eau} = 7570 \text{ L}$ va circuler pour refroidir les panneaux solaires. La température de ce volume d'eau va passer de la valeur $T_{min} = 50^\circ\text{C}$ à une valeur maximale T_{max} que l'on cherche à déterminer.

4. Donner l'expression de l'énergie thermique Q reçue par l'eau en fonction de P_{th} et Δt .

5. En supposant que l'élévation de température du volume total d'eau est uniquement due aux panneaux solaires, déterminer la température T_{max} atteinte et déterminer si le système de refroidissement risque ou non l'explosion.

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à exposer sa démarche même si elle n'est pas complètement aboutie.

Partie 3 - Le bouclier thermique

La sonde PSP est protégée des rayonnements solaires par un bouclier thermique de surface S_b et d'épaisseur e (figures 1 et 5). Constamment tourné vers le Soleil, ce bouclier thermique permet de garder l'ensemble du corps de la sonde à une température convenable pour ne pas endommager les instruments embarqués.

Le bouclier thermique est composé d'un revêtement externe à base d'alumine, capable d'endurer de hautes températures jusqu'à 1900 K. Derrière ce revêtement, se trouve de la mousse de carbone, prise entre deux couches rigides en fibre de carbone, très résistantes à la température et à la déformation (figure 5).

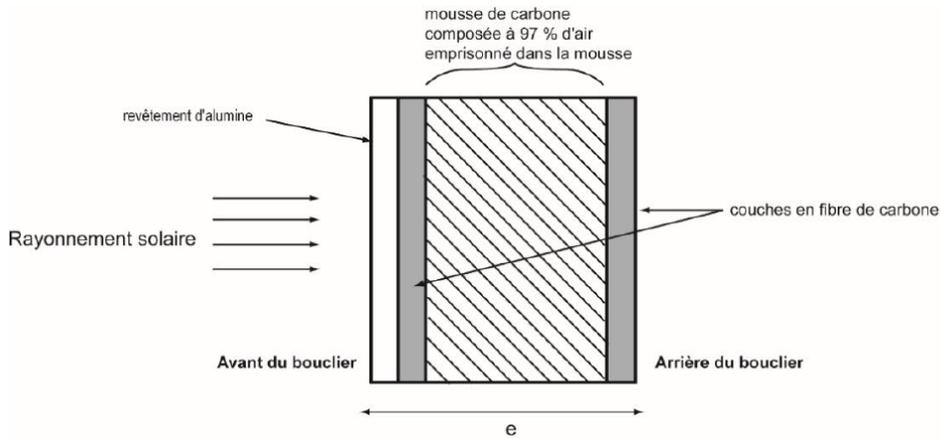


Figure 5 – Schéma simplifié du bouclier thermique vu en coupe

Soumis à l'intense rayonnement du Soleil, la température à l'avant du bouclier atteint une valeur $T_{av} = 1700$ K et rayonne un flux thermique surfacique important φ_{av} . Par ailleurs, un flux thermique surfacique $\varphi_{ar} = 1,55 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ traverse la surface S_b du bouclier vers l'arrière (figure 6). Pour permettre le bon fonctionnement de la sonde, il est impératif de limiter l'élévation de température à l'arrière du bouclier thermique en dépit de ce flux thermique surfacique élevé.

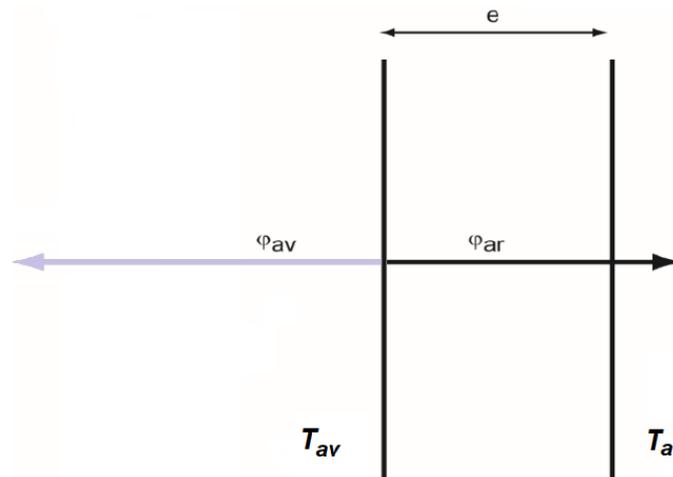


Figure 6 – Flux thermiques au niveau du bouclier thermique

Données :

- Conductivités thermiques de quelques matériaux :

Matériau	Mousse de carbone	Alumine	Métaux	PVC
Conductivité thermique ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)	0,0262	37	20 à 400	0,17

- Caractéristiques du bouclier thermique : surface $S_b = 16,6 \text{ m}^2$; épaisseur $e = 11,4 \text{ cm}$; conductivité thermique $\lambda = 0,140 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.
- Résistance thermique R_{th} d'une paroi de surface S , d'épaisseur e et de conductivité thermique λ :

$$R_{th} = \frac{e}{\lambda \times S} \quad (\text{en } \text{K}\cdot\text{W}^{-1})$$

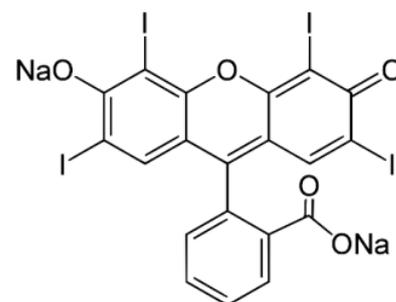
- Flux thermique Φ traversant une paroi de résistance thermique R_{th} et soumise à une différence de température $|\Delta T|$:

$$\Phi = \frac{|\Delta T|}{R_{th}}$$

6. Caractériser le mode de transfert thermique entre le Soleil et la sonde PSP.
7. Justifier l'utilisation de la mousse de carbone à l'intérieur du bouclier thermique.
8. Déterminer la valeur du flux thermique total vers l'arrière Φ .
9. À l'aide des caractéristiques du bouclier thermique et des données, déterminer l'écart de température $|\Delta T|$ entre les deux faces du bouclier thermique ainsi que la température T_{ar} à l'arrière du bouclier. Commenter.
Le candidat est invité à prendre des initiatives et à exposer sa démarche même si elle n'est pas complètement aboutie.

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.

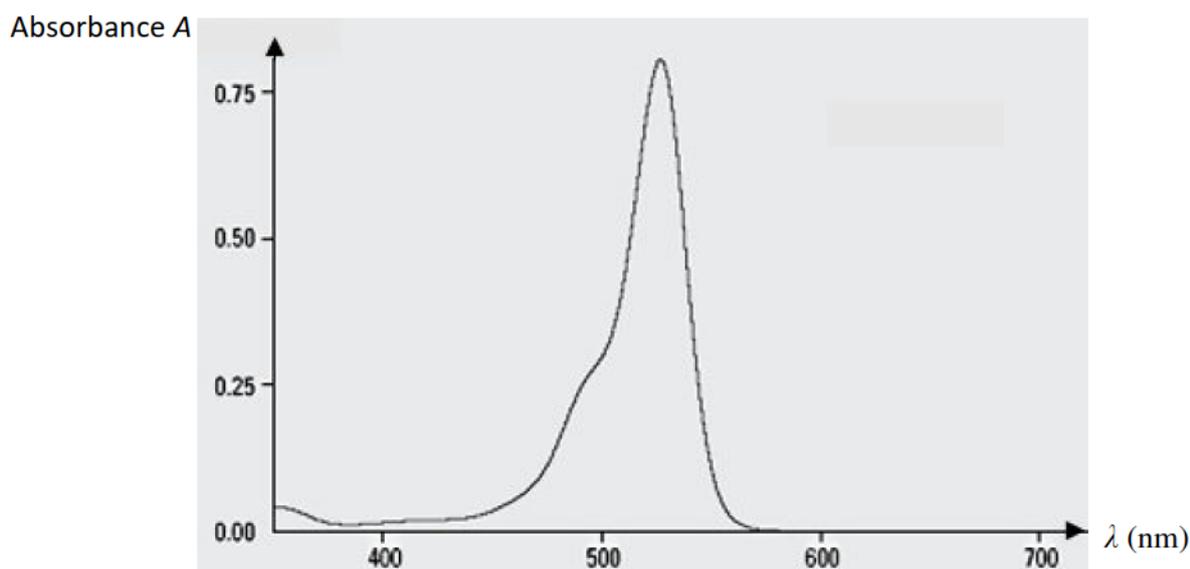


Figure 1 – Spectre d'absorption d'une solution aqueuse d'érythrosine

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

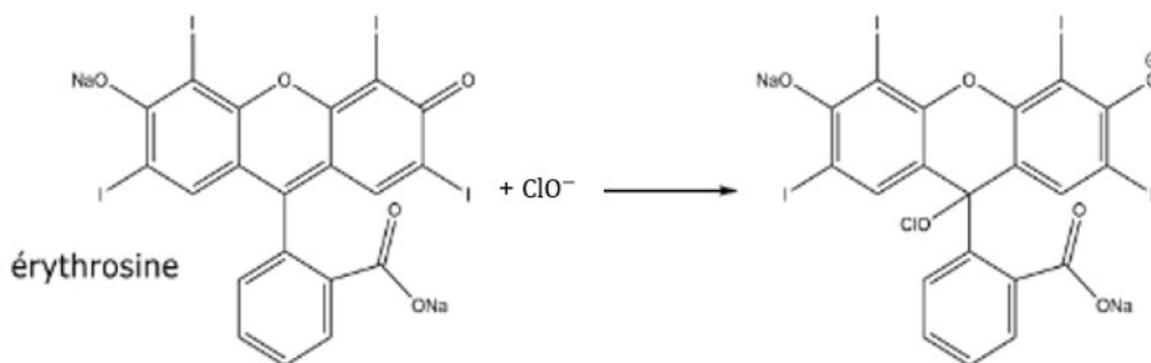
1. Proposer une valeur de la longueur d'onde λ_m à laquelle régler le spectrophotomètre.
2. À partir de la loi de Beer-Lambert, montrer que la mesure de l'absorbance de la solution étudiée permet de déterminer la concentration en érythrosine.

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

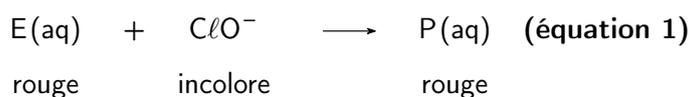
3. Montrer que la concentration de la solution en érythrosine est : $[E] = 5,4 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.
4. En s'appuyant sur la valeur de la DJA citée dans le **document** de l'introduction, montrer qu'une personne de 50 kg peut consommer la totalité de la solution contenue dans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



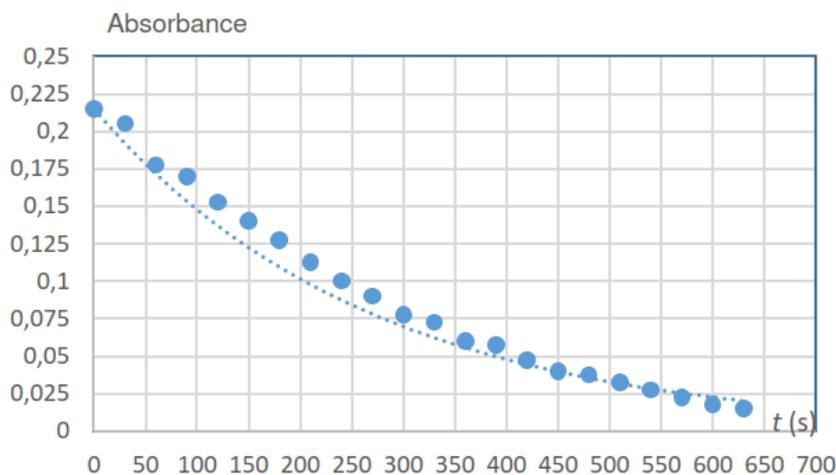
On s'intéresse à la rapidité avec laquelle l'eau de Javel permet d'effacer les taches d'érythrosine, dans le cas où l'ion hypochlorite est en excès.

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 $t = 0 \text{ s}$, on mélange $V_1 = 5,0 \text{ mL}$ de solution S_1 avec $V_E = 5,0 \text{ mL}$ 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 :

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

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 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 – DISSOLUTION D'UNE COQUILLE D'ŒUF (5 POINTS)

Pour permettre aux enfants de découvrir les sciences, certains sites internet proposent des expériences simples et réalisables chez soi, comme la dissolution d'une coquille d'œuf dans du vinaigre blanc.

Dans cet exercice, on se propose de vérifier le titre d'un vinaigre blanc et d'étudier l'action de ce vinaigre sur une coquille d'œuf.

Partie 1 – Vérification du degré d'un vinaigre blanc

Le vinaigre blanc est une solution aqueuse d'un acide faible (c'est à dire, dont la réaction avec l'eau n'est pas totale) appelé acide éthanoïque dont la formule chimique est $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq})$. Le vinaigre blanc a une acidité de 8° en acide éthanoïque.

Données :

- Couples acide/base : $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq})/\text{CH}_3\text{COO}^-(\text{aq})$ et $\text{H}_2\text{O}(\ell)/\text{HO}^-(\text{aq})$.
- Masses molaires atomiques : $M(\text{H}) = 1,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $M(\text{C}) = 12,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
 $M(\text{O}) = 16,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $M(\text{Ca}) = 40,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.
- Le titre ou l'acidité d'un vinaigre est donné en degré ($^\circ$) : $1,00^\circ$ correspond à 1,00 g d'acide éthanoïque pur pour 100 g de vinaigre.
- La valeur de la masse volumique ρ du vinaigre est : $\rho = 1010 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$.

Pour vérifier le titre en degré du vinaigre, on réalise un titrage avec suivi pH-métrique d'un volume de vinaigre V_{vinaigre} égal à 5,0 mL par une solution de soude ($\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{HO}^-(\text{aq})$) de concentration $c_b = 5,0 \times 10^{-1} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$. La valeur du volume relevé à l'équivalence est : $V_{\text{eq}} = 13,4 \text{ mL}$.

1. Faire un schéma annoté du montage expérimental nécessaire à la mise en œuvre du titrage.
2. Écrire la réaction support du titrage qui a lieu entre la solution de soude et le vinaigre.
3. Déterminer la concentration en $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ de l'acide éthanoïque, notée c_a , présent dans ce vinaigre.
4. En détaillant le raisonnement, vérifier que le titre de ce vinaigre est bien de 8° .

Pour répondre à cette question, 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 nécessite d'être correctement présentée.

Partie 2 – Action du vinaigre sur une coquille d'œuf

La coquille d'œuf des oiseaux est constituée en majorité (95%) d'une substance minérale appelée carbonate de calcium dont la formule chimique est $\text{CaCO}_3(\text{s})$.

Le processus est lent, mais en immergeant un œuf dans du vinaigre, on voit apparaître de petites bulles de gaz qui se forment à la surface de la coquille qui se dissout.

Données :

- Principales bandes d'absorption IR :
 - O–H alcool : 3200 à 3400 cm^{-1} (bande forte et large)
 - O–H acide carboxylique : 2600 à 3100 cm^{-1} (bande forte et très large)
 - C=O : 1700 à 1760 cm^{-1} (bande forte et fine)
- Couples acide/base : $\text{CO}_2(\text{g}), \text{H}_2\text{O}(\ell)/\text{HCO}_3^-(\text{aq})$; $\text{HCO}_3^-(\text{aq})/\text{CO}_3^{2-}(\text{aq})$

5. Représenter le schéma de Lewis de l'acide éthanóïque CH_3COOH .
6. À l'aide des principales bandes d'absorption données, identifier le spectre infrarouge correspondant à l'acide éthanóïque parmi ceux proposés dans la **figure 1** ci-dessous.

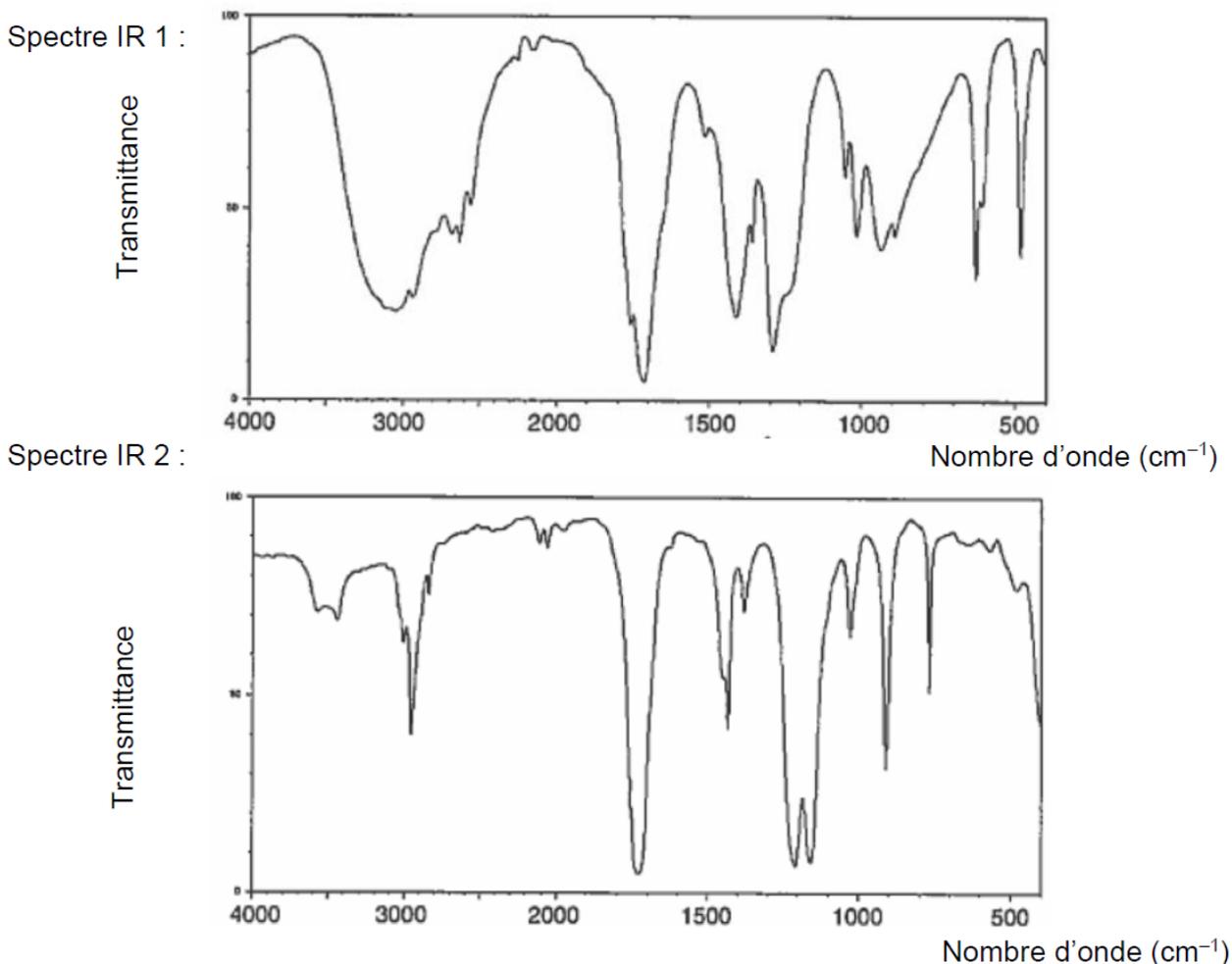
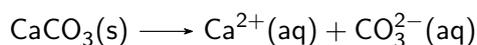


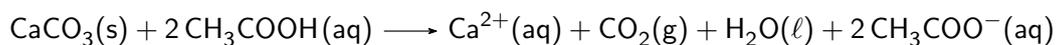
Figure 1 – Spectres infrarouges de deux substances

Source : <https://webbook.nist.gov/>

En solution aqueuse, le carbonate de calcium $\text{CaCO}_3(\text{s})$ se dissout, selon l'équation :



7. L'ion carbonate $\text{CO}_3^{2-}(\text{aq})$ réagit avec l'acide éthanóïque introduit en large excès. Écrire l'équation de la réaction acido-basique qui se produit entre ces deux espèces chimiques.
8. L'ion hydrogénocarbonate $\text{HCO}_3^{-}(\text{aq})$ ainsi formé réagit lui-même avec l'acide éthanóïque. Écrire l'équation de la réaction acido-basique qui se produit entre ces deux espèces chimiques.
9. Montrer que l'équation de la réaction qui modélise l'action du vinaigre sur le carbonate de calcium s'écrit :



10. Indiquer, en le justifiant, le caractère acide-base de l'ion hydrogénocarbonate $\text{HCO}_3^{-}(\text{aq})$.

ANNEXE DE L'EXERCICE 1 – À RENDRE AVEC LA COPIE

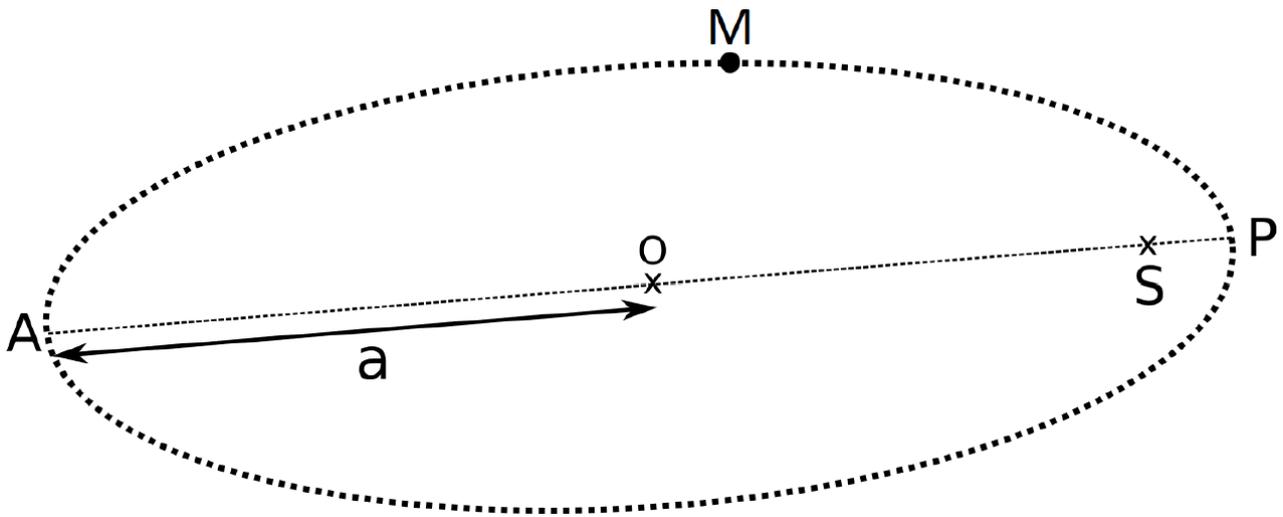


Figure 4 – Orbite elliptique de la sonde *PSP* en 2025