Bac Général Physique-Chimie + SVT (Physique-chimie et Sciences de la vie et de la Terre)

SUJET D'EXAMEN (SESSION OFFICIELLE)

Physique-chimie - Session 2023

Sujet de l'examen national tel que publié pour la session indiquée. Source : sujets nationaux publiés par le ministère chargé de l'examen et les services académiques. Document mis à disposition par FormaV pour la révision.

Toutes les annales et leurs corrigés : https://bac-physique-svt.fr/annales-sujets-et-corriges

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2023

PHYSIQUE-CHIMIE

JOUR 1

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 13 pages numérotées de 1/13 à 13/13.
L'annexe page 13/13 est à rendre avec la copie.

EXERCICE I – AUTOUR DE SATURNE (11 points)

La planète Saturne, connue pour ses anneaux, compte pas moins de 80 satellites naturels ou « lunes ».

La plus grande de ces lunes, Titan, n'est pas visible à l'œil nu. Elle a été découverte en 1655 par Christian Huygens (1629-1695) grâce à une lunette astronomique de sa conception.

L'une des lunes les plus proches de Saturne est Janus, découverte en 1966 par plusieurs astronomes dont le français Audouin Dollfus (1924-2010).

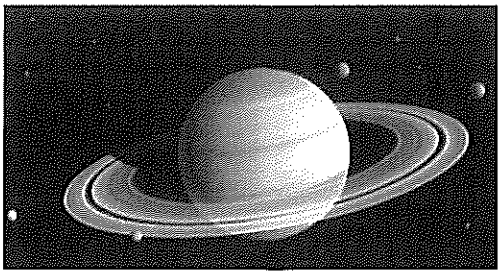


Illustration tirée de : starwalk.space/fr

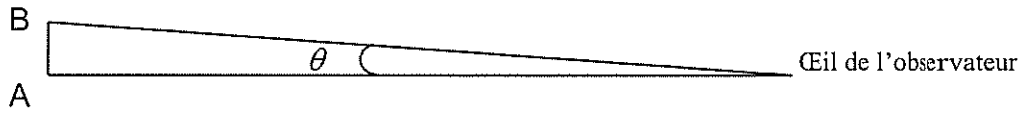
Cet exercice a plusieurs objectifs : justifier l'utilisation d'une lunette astronomique pour observer Titan (**parties A et B**), étudier ses limites d'observation (**partie C**), puis étudier le mouvement des anneaux et de Janus (**partie D**).

Données

- Diamètre apparent d'un objet et pouvoir séparateur de l'œil, **document 1**.

Document 1 – Diamètre apparent d'un objet et pouvoir séparateur

Le diamètre apparent d'un objet, noté θ, est l'angle sous lequel un objet AB est vu par un observateur (Cf. figure).



Le pouvoir séparateur de l'œil, noté ε, est la valeur minimale de l'angle θ sous lequel les deux points A et B peuvent être vus séparément. Pour l'œil humain, $\varepsilon = 3\times10^{-4}$ rad.

- Distance moyenne Titan - Terre : $D = 1{,}43\times10^{9}$ km
- Diamètre de Titan : $d = 5{,}2\times10^{3}$ km
- Angle sous lequel est vue la lune Janus depuis la Terre : $\theta_J = 1{,}3 \times 10^{-7}$ rad
- Dans tout l'exercice les angles sont suffisamment petits pour que l'on puisse faire l'approximation : $\tan\theta \approx \theta$, avec θ en radian.

Partie A - Observation de Titan à l'œil nu

1. Montrer que l'angle θ sous lequel se présente Titan depuis la Terre vaut approximativement $3{,}6\times10^{-6}$ rad.
2. Justifier que Titan n'est pas observable à l'œil nu.
3. En déduire la valeur G_{min} du grossissement minimal que doit avoir un instrument d'optique, telle une lunette, pour observer Titan depuis la Terre.

Partie B - Observation de Titan à l'aide d'une lunette astronomique

Une élève se rend à l'Observatoire historique de Marseille pour observer Saturne et ses satellites. Elle fait ses observations à l'aide d'une lunette astronomique dont les caractéristiques sont données ci-dessous.

Objectif : Distance focale $f'_{ob} = 3{,}10$ m. Diamètre $d_{ob} = 260$ mm.

Pour l'oculaire, trois distances focales f'_{oc} sont possibles : 12 mm, 25 mm, 40 mm.

Le schéma de principe modélisant cette lunette est présenté **en ANNEXE PAGE 13/13 À RENDRE AVEC LA COPIE**. L'objet $A_\infty B_\infty$ observé est situé à l'infini, il est perpendiculaire à l'axe optique ; le point A_∞ est sur l'axe optique. Seuls quelques rayons issus de B_∞ sont représentés. Les angles ne sont pas à l'échelle. On rappelle qu'un système optique est dit « afocal » s'il donne d'un objet à l'infini une image à l'infini.

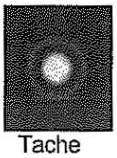
4. Identifier l'objectif et l'oculaire sur le schéma **en ANNEXE PAGE 13/13 À RENDRE AVEC LA COPIE** et positionner les foyers F_2 et F'_2 de la lentille L_2 pour obtenir une lunette afocale.
5. Construire sur le schéma **en ANNEXE PAGE 13/13 À RENDRE AVEC LA COPIE** la marche complète des rayons lumineux incidents issus d'un point objet B_∞ situé à l'infini, en faisant apparaître l'image intermédiaire B_1 donnée par la lentille L_1.
6. À partir de la définition du grossissement G, établir que dans le cas d'une lunette afocale :

$$G = \frac{f'_{ob}}{f'_{oc}}$$

7. Parmi les différents oculaires disponibles, indiquer en justifiant celui qui permet d'obtenir le grossissement maximal.
8. Indiquer s'il est possible d'observer chacune des deux lunes, Titan et Janus, à l'aide de cette lunette.
9. Donner une estimation de la longueur L de la lunette de l'observatoire de Marseille en s'appuyant sur le schéma de principe de la lunette représentée **en ANNEXE PAGE 13/13** et sur les valeurs des distances focales.

Partie C - Limites d'observation de la lunette astronomique

Le grossissement de la lunette n'est pas une donnée suffisante pour être assuré d'observer correctement Titan.


Tache d'Airy

En effet, la lunette astronomique devrait former, à partir d'un point objet, un point image. Mais le caractère ondulatoire de la lumière entraîne la formation d'une tache à la place du point image souhaité. Cette tache, provoquée par la monture de l'objectif de diamètre d_{ob}, est constituée de cercles lumineux concentriques appelée tache d'Airy (voir ci-contre). Ce phénomène limite le pouvoir de résolution de la lunette (voir **document 2** ci-dessous).

Document 2 – Pouvoir de résolution d'un instrument optique

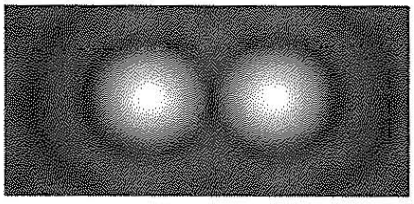
Le pouvoir de résolution est lié à la capacité à discerner les détails à travers un système optique (microscope, télescope, lunette, œil…). Il est caractérisé par un angle noté α.

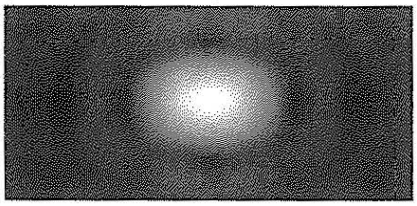
Pour une lunette, il a pour expression :

$$\alpha = \frac{1{,}22 \times \lambda}{d_{ob}}$$

où λ est la longueur d'onde du faisceau incident et d_{ob} le diamètre de l'objectif.

La lunette astronomique permet de distinguer deux points à condition que l'écart angulaire θ' entre ces deux points soit supérieur ou égal à l'angle α (voir figures ci-dessous).


$\theta' > \alpha$: les deux points peuvent être discernés


$\theta' \leq \alpha$: les deux points ne peuvent pas être discernés

10. Nommer le phénomène physique qui limite le pouvoir de résolution de la lunette.

Un critère retenu pour voir correctement Titan est de pouvoir distinguer ses pôles, repérés par les points A et B (schéma ci-contre).



11. Pour la longueur d'onde du visible $\lambda = 550\ \text{nm}$ et pour un grossissement $G = 260$, vérifier que la lunette permet d'observer Titan correctement.

12. Expliquer pourquoi il est préférable d'utiliser des lunettes avec un objectif ayant un grand diamètre d'ouverture.

Partie D - Autour de Saturne

Les anneaux de Saturne semblent continus depuis la Terre. En réalité, ils sont constitués de morceaux de glace et de poussières dont la taille maximale est de l'ordre de quelques centaines de mètres. Chacun de ces morceaux, tout comme les lunes en orbite autour de Saturne, obéissent aux lois du mouvement d'un satellite dans un champ de gravitation.

Données

- Rayon de Saturne : $R_S = 58{,}2 \times 10^3$ km
- Rayon intérieur du premier anneau : $r_{int} = 6{,}69 \times 10^4$ km
- Rayon extérieur du premier anneau : $r_{ext} = 7{,}45 \times 10^4$ km
- Rayon extérieur du dernier anneau : $R_{ext} = 1{,}36 \times 10^5$ km
- Rayon de l'orbite de Janus : $R_J = 1{,}51 \times 10^5$ km
- Constante de gravitation universelle : $G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ $m^3 \cdot kg^{-1} \cdot s^{-2}$

La vitesse v, constante, d'un satellite de masse m en orbite circulaire autour de Saturne est donnée par la relation :

$$v = \sqrt{\frac{G \times M_S}{r}} \quad \textbf{(relation 1)}$$

où r est le rayon constant de l'orbite du satellite et M_S la masse de Saturne.

13. Retrouver la **relation 1** en utilisant la deuxième loi de Newton et la loi d'interaction gravitationnelle.

14. Montrer que l'expression de la vitesse du satellite permet de retrouver la troisième loi de Kepler qui relie la période T du satellite au rayon r de son orbite : $T^2 = k \times r^3$ avec $k = \frac{4\pi^2}{G \times M_S}$.

15. Déterminer la masse de Saturne sachant que la période de révolution de Janus est de 17 h.

16. Justifier qualitativement que tous les corps du premier anneau ne tournent pas à la même vitesse autour de Saturne.

17. Déterminer le nombre de tours effectués par la bordure interne du premier anneau, située à la distance r_{int}, pendant que la bordure externe du dernier anneau, située à R_{ext}, réalise un tour complet.

EXERCICE II – CONTRÔLE DE L'ORDRE D'UNE REACTION (4,5 points)

Le peroxyde d'hydrogène a pour formule chimique H_2O_2. Une solution aqueuse de peroxyde d'hydrogène est appelée communément « eau oxygénée » et est utilisée comme désinfectant et détachant. En solution aqueuse, le peroxyde d'hydrogène peut se décomposer en eau et en dioxygène.

L'équation de la réaction de cette décomposition, appelée aussi dismutation, s'écrit :

$$2\ H_2O_{2(aq)} \rightarrow\ O_{2(g)} + 2\ H_2O_{(\ell)} \quad \textbf{(équation 1)}$$

L'objectif de cet exercice est de vérifier que la dismutation du peroxyde d'hydrogène suit une loi de vitesse d'ordre 1.

La dismutation de l'eau oxygénée est lente mais elle peut être accélérée en utilisant des ions fer(III), Fe^{3+}. Dans ce cas, la réaction peut être décomposée en deux étapes rapides :

Etape ① $\quad H_2O_{2(aq)} + 2\ Fe^{3+}_{(aq)} \rightarrow\ 2\ Fe^{2+}_{(aq)} + O_{2(g)} + 2\ H^+_{(aq)}$

Etape ② $\quad H_2O_{2(aq)} + 2\ Fe^{2+}_{(aq)} + 2\ H^+_{(aq)} \rightarrow\ 2\ Fe^{3+}_{(aq)} + 2\ H_2O_{(\ell)}$

1. En analysant les étapes ① et ② de la dismutation du peroxyde d'hydrogène en présence d'ions fer, justifier que l'ion fer, Fe^{3+}, joue un rôle de catalyseur.

Pour suivre l'évolution temporelle de la concentration en H_2O_2 en présence d'ions Fe^{3+}, on réalise le dosage par titrage, à différentes dates t, d'un échantillon du milieu réactionnel par des ions permanganate MnO_4^- d'une solution de permanganate de potassium acidifiée. Chaque dosage par titrage permet de déterminer la concentration $[H_2O_2]$ en peroxyde d'hydrogène restant à la date t.

L'équation de réaction support du dosage est :

$$5\ H_2O_{2(aq)} + 2\ MnO_4^-{}_{(aq)} + 6\ H^+_{(aq)} \rightarrow 5\ O_{2(g)} + 2\ Mn^{2+}_{(aq)} + 8\ H_2O_{(\ell)} \quad \textbf{(équation 2)}$$

La seule espèce chimique colorée est l'ion permanganate, MnO_4^-, rose-violet en solution aqueuse. L'équivalence est donc repérée par un changement de couleur du mélange réactionnel.

Protocole de suivi cinétique de la décomposition de l'eau oxygénée

On dispose :
- d'une solution S_0 d'eau oxygénée de concentration en peroxyde d'hydrogène $[H_2O_2]_0$ inconnue ;
- d'une solution de chlorure de fer (III) (Fe^{3+}, 3 Cl^-) de concentration 0,10 mol·L^{-1} ;
- d'une solution S_P de permanganate de potassium (K^+, MnO_4^-) dont la concentration est $C_P = 2{,}00\times10^{-2}$ mol·L^{-1} ;
- d'une solution d'acide sulfurique.

Préparation du dispositif de dosage par titrage
- Remplir la burette graduée de la solution S_P de permanganate de potassium (K^+, MnO_4^-).
- Préparer sept erlenmeyers contenant chacun 40 mL d'eau distillée glacée et 10 mL de solution d'acide sulfurique.
- Placer ces sept erlenmeyers dans un cristallisoir contenant un mélange d'eau et de glace.

Préparation du mélange réactionnel

- Dans un erlenmeyer de 150 mL, verser 95,0 mL de la solution S_0 d'eau oxygénée.
- Introduire un barreau aimanté. Placer l'ensemble sur agitateur. Mettre en route l'agitation.
- Verser rapidement 5 mL de solution de chlorure de fer(III) (Fe^{3+}, 3 Cl^-) et déclencher immédiatement le chronomètre.

Dosage : détermination de la concentration en H_2O_2 à différentes dates t

- Le plus rapidement possible, prélever un volume V_R = 10,0 mL du milieu réactionnel.
- Verser rapidement ce prélèvement dans l'un des sept erlenmeyers.
- Introduire un barreau aimanté et doser par titrage le peroxyde d'hydrogène présent dans le volume V_R à cette date t par la solution de permanganate S_P.
- Noter V_E le volume équivalent alors versé.
- Procéder de la même façon aux dates 4 min, 6 min, 8 min, 12 min, 20 min, 30 min, 40 min et 80 min.

Résultats expérimentaux

t (min)	1,75	4	6	8	12	20	30	40	80
V_E (mL)	16,0	15,0	13,8	12,9	11,4	8,6	5,9	4,2	1,2
$[H_2O_2]$ ($mmol \cdot L^{-1}$)	80,0	75,0	69,0	64,5		43,0	29,5	21,0	6,0

2. Identifier les deux facteurs cinétiques mis en œuvre pour stopper la réaction de dismutation (**équation 1**) le temps du dosage.

3. Indiquer le changement de couleur observé à l'équivalence (**équation 2**).

4. À partir de l'équation de la réaction support du dosage, **équation 2**, et de la définition de l'équivalence, établir que la concentration en quantité de matière du peroxyde d'hydrogène est donnée par la relation suivante :

$$[H_2O_2] = \frac{5 \times C_P \times V_E}{2 \times V_R}$$

5. Calculer la valeur de $[H_2O_2]$ manquante à la date t = 12 min dans le tableau des résultats expérimentaux.

6. À partir de la définition de la vitesse de disparition de l'eau oxygénée, et en supposant que la dismutation du peroxyde d'hydrogène suit une loi cinétique d'ordre 1, retrouver la relation suivante :

$$\frac{d[H_2O_2]}{dt} = -k \times [H_2O_2]$$

La relation ci-dessus, **question 6,** est une équation différentielle qui admet des solutions de la forme :

$$[H_2O_2](t) = B \times e^{-k \times t} \quad \textbf{(relation 1)}$$

7. Donner la signification physique de B.

À partir des résultats expérimentaux obtenus, on a tracé les deux graphiques ci-après (**figure 1** et **figure 2**).

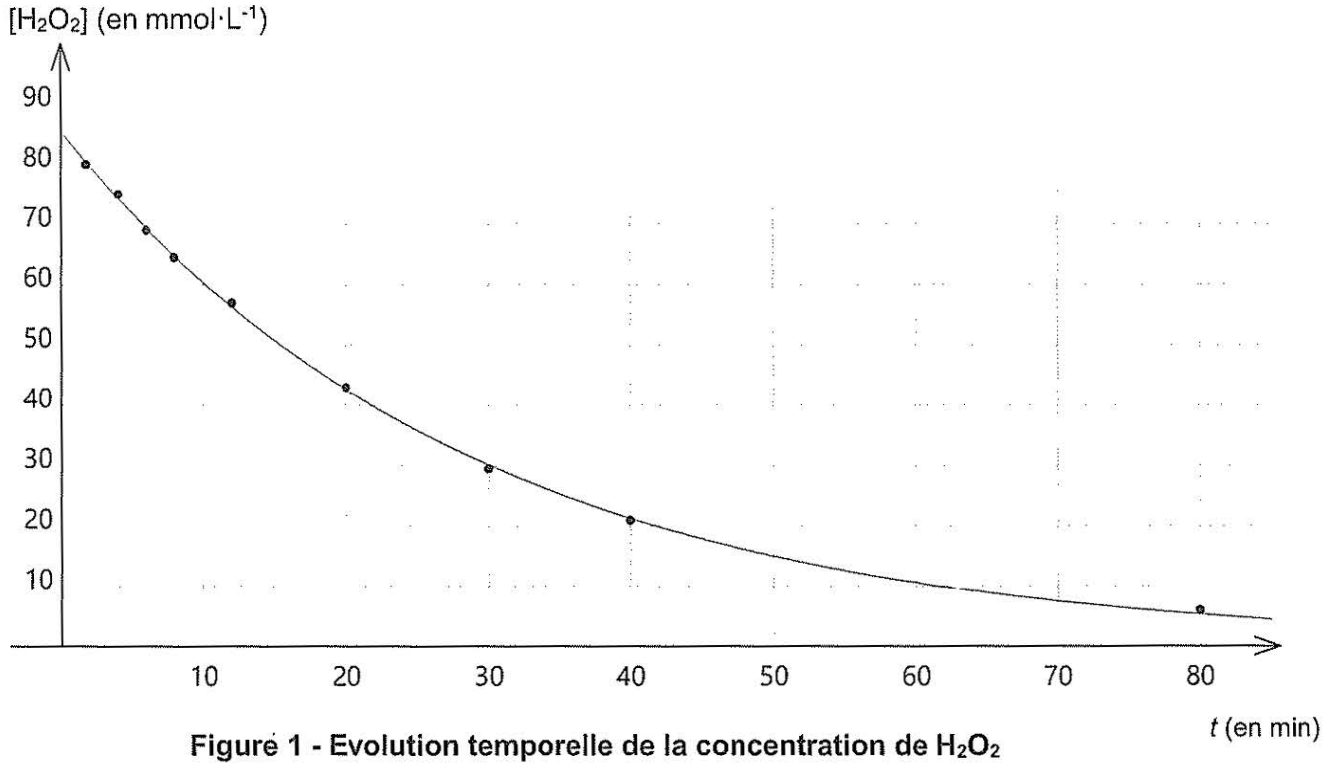


Figure 1 - Evolution temporelle de la concentration de H_2O_2

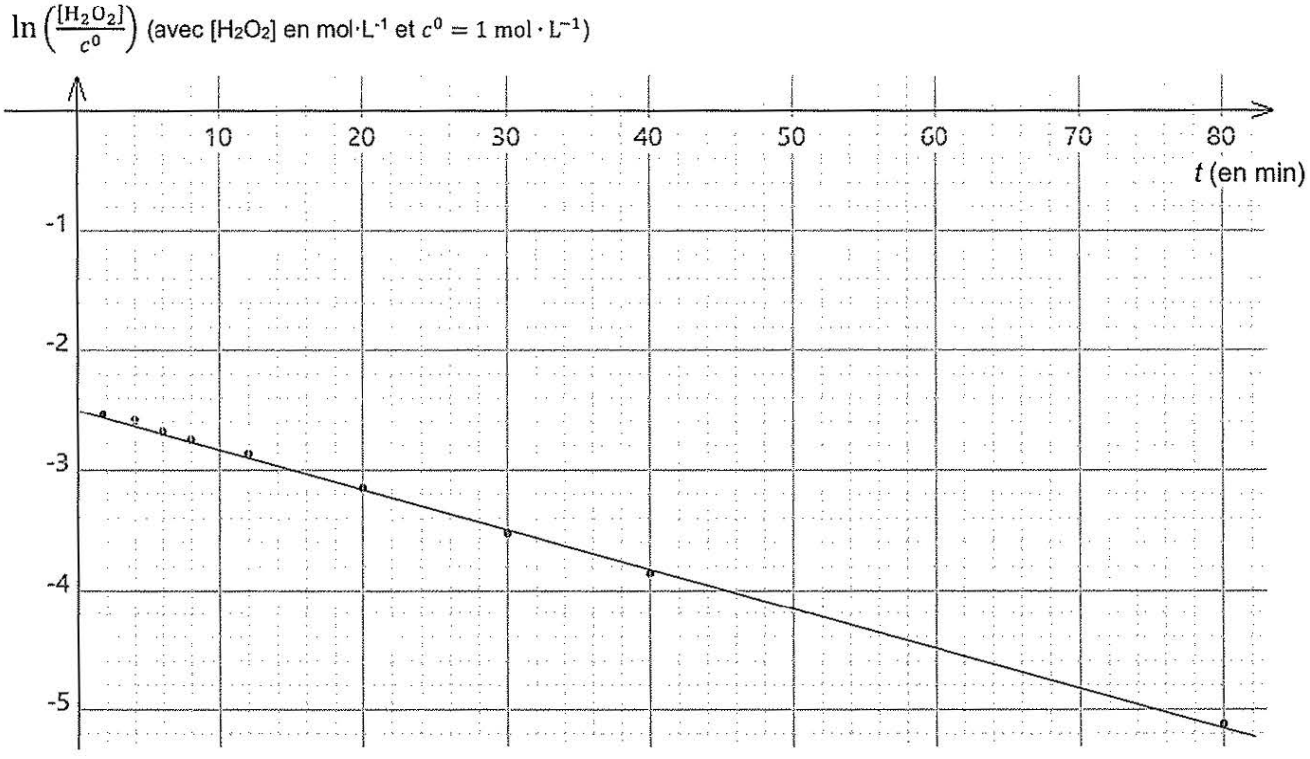


Figure 2 - Évolution temporelle de $\ln\left[\frac{[H_2O_2]}{c^0}\right]$ avec $[H_2O_2]$ en mol·L^{-1} et $c^0 = 1\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

Compte tenu des propriétés de la fonction logarithme népérien, il est possible d'écrire à partir de la **relation 1** :

$$\ln\left[\frac{[H_2O_2]}{c^0}\right] = \ln\left[\frac{B}{c^0}\right] - k \times t \quad \textbf{(relation 2)}$$

8. En s'appuyant sur la **relation 2** et le graphique de la **figure 2**, montrer que l'hypothèse selon laquelle la dismutation du peroxyde d'hydrogène suit une loi cinétique d'ordre 1 est bien valide. En déduire la valeur de la constante k.

9. Définir puis déterminer le temps de demi-réaction $t_{1/2}$ de cette réaction de dismutation à l'aide de la **figure 1**.

Pour une réaction qui suit une cinétique d'ordre 1, on peut montrer que le temps de demi-réaction $t_{1/2}$ est indépendant de la concentration initiale et est relié à la grandeur k par la relation suivante :

$$k \times t_{1/2} = \ln 2$$

10. Préciser si la valeur de la grandeur k varie si la concentration initiale $[H_2O_2]_0$ diminue.

EXERCICE III – TENEUR EN ION SALICYLATE DANS UNE CRÈME (4,5 points)

L'ion salicylate a pour formule chimique $C_6H_4OHCOO^-$. Il s'agit d'une espèce chimique que l'on retrouve dans certains médicaments utilisés pour traiter l'acné.

L'étiquette d'un flacon commercial de crème contenant des ions salicylate porte l'indication :

« Ion salicylate formulé à 1000 mg pour 100 g de crème ».

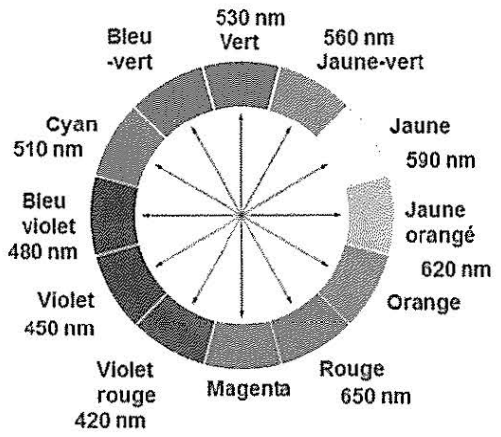
Cela correspond à un pourcentage massique w_{ref} = 1,00 %.

Le but de cet exercice est de contrôler cette indication d'une teneur massique de 1,00 % fournie par le fabricant.

Pour simplifier, on notera HL^- l'ion salicylate dans tout l'exercice.

Données

- Masse volumique de la crème : ρ(crème) = 860 g·L^{-1}.
- L'ion salicylate en solution aqueuse est obtenu par dissolution du salicylate de sodium solide NaHL dans l'eau.
- Masse molaire du salicylate de sodium : M(NaHL) = 160,1 g·mol^{-1}.
- Masse molaire de l'ion salicylate HL^- : $M(HL^-)$ = 137,1 g·mol^{-1}.
- Concentration standard : $c°$ = 1,0 mol·L^{-1}.
- Cercle chromatique :



L'ion salicylate absorbe dans le domaine des ultraviolets et ne peut donc pas être détecté par un spectrophotomètre fonctionnant dans le visible. Mais, lorsqu'il réagit avec des ions Fe^{3+}, l'ion salicylate HL^- forme une espèce colorée qu'il est possible de doser à l'aide du spectrophotomètre.

Dans la **partie A**, on cherche à vérifier que la réaction entre l'ion Fe^{3+} et l'ion HL^- en solution aqueuse est totale.

Dans la **partie B**, on réalise le dosage spectrophotométrique de l'espèce colorée obtenue.

Partie A - Etude de la réaction entre l'ion Fe^{3+} et l'ion HL^-

L'équation de cette réaction est :

$$Fe^{3+}_{(aq)} + HL^-_{(aq)} \rightleftharpoons FeL^+_{(aq)} + H^+_{(aq)} \quad \textbf{(équation 1)}$$

Peu colorée — incolore — très colorée — incolore

On note $K = 10^{2,9}$ la constante d'équilibre de cette réaction à la température de 25 °C.

On prépare une solution aqueuse S_{fer} contenant des ions Fe^{3+} en solution aqueuse de concentration $C_{fer} = 10,0$ mmol·L^{-1} = $[Fe^{3+}]$. Cette solution est de plus une solution tampon dont la valeur du pH est pH = 3,0.

On dispose d'une solution aqueuse « mère » S_0 de salicylate de sodium (Na^+, HL^-) de concentration $C_0 = 100$ mmol·L^{-1}.

À partir de la solution S_0, on prépare une solution diluée S_1 de concentration $C_1 = 10,0$ mmol·L^{-1}.

1. Déterminer la masse m de salicylate de sodium NaHL solide qu'il a fallu peser pour préparer un volume $V_0 = 100,0$ mL de la solution S_0 de concentration C_0.

2. Identifier dans la liste ci-dessous la verrerie à utiliser pour préparer $V_1 = 50,0$ mL de la solution S_1 à partir de la solution mère S_0. Justifier à l'aide d'un calcul.

Verrerie à disposition :
- fioles jaugées de 10,0 mL et 50,0 mL
- pipettes jaugées de 2,0 mL ; 5,0 mL ; 10,0 mL et 20,0 mL

Le milieu réactionnel est obtenu en mélangeant dans un bécher :
- un volume $V_{fer} = 10,0$ mL de la solution S_{fer} tamponnée de concentration C_{fer} ;
- un volume $V = 0,100$ mL de la solution diluée S_1 de concentration C_1.

3. Après avoir rappelé les propriétés d'une solution tampon, justifier que la valeur du pH du milieu réactionnel ne varie pas.

4. Compléter littéralement le tableau d'avancement de la réaction **en annexe page 13/13 à rendre avec la copie**. On note x_{eq} l'avancement à l'état d'équilibre, exprimé en mol.

5. Montrer qu'à l'équilibre du système chimique, la constante d'équilibre K de cette réaction peut se mettre sous la forme : $K = \dfrac{x_{eq} \times [H^+] \times (V + V_{fer})}{(C_{fer} \times V_{fer} - x_{eq}) \times (C_1 \times V - x_{eq})}$

L'application numérique conduit à l'égalité suivante (qui n'est pas à démontrer) :

$$K = 10^{2,9} = \frac{x_{eq} \times 1,01 \times 10^{-5}}{\left(1,00 \times 10^{-6} - x_{eq}\right) \times \left(1,0 \times 10^{-4} - x_{eq}\right)}.$$

Mathématiquement, cette équation en x_{eq} admet deux solutions que l'on peut écrire :

$x_1 = 9,999 \times 10^{-7}$ mol et $x_2 = 9,999 \times 10^{-5}$ mol.

6. Indiquer pourquoi il convient de ne retenir que la valeur x_1 et déduire de cette valeur que la réaction peut être considérée comme totale.

Partie B - Dosage spectrophotométrique des ions salicylate HL^-

La **partie A** a permis de conclure que la réaction entre l'ion Fe^{3+} et l'ion HL^- peut être considérée comme totale. Pour la réaction d'**équation 1**, on a donc l'égalité :

$$n(FeL^+)_{(produit)} = n(HL^-)_{(réagi)}$$

L'espèce produite FeL^+ est dosée par spectrophotométrie et par étalonnage.

Le spectre d'absorption de l'espèce FeL^+ est présenté sur la **figure 1** ci-dessous.

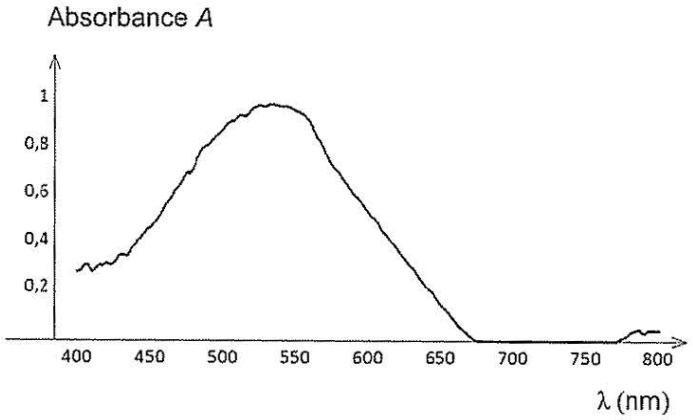


Figure 1 – Spectre d'absorption de l'espèce FeL^+

Pour tracer la courbe d'étalonnage, on a préparé cinq solutions étalons en mélangeant :

- un volume V_{fer} = 10,0 mL de solution S_{fer} ;
- un volume V = 0,100 mL d'une solution de salicylate de sodium de concentration C_i connue.

Pour λ_{max} = 535 nm, on a mesuré l'absorbance de chaque solution étalon, ce qui a permis de tracer le graphique en **figure 2** présentant l'évolution de l'absorbance en fonction de la concentration en ion HL^-.

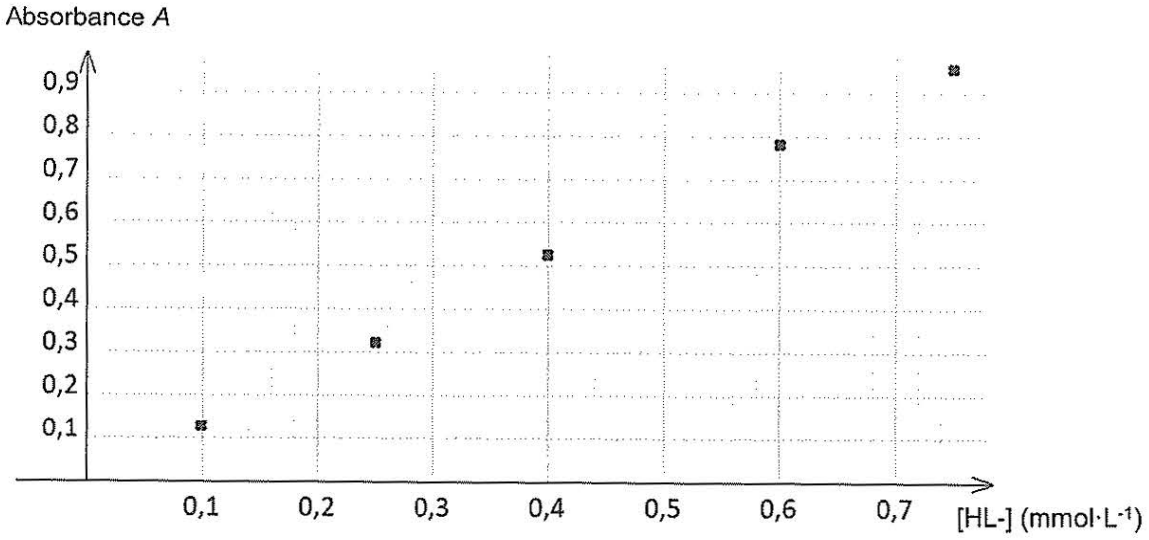


Figure 2 – Courbe d'étalonnage de l'espèce HL^-

Pour déterminer la teneur en ion salicylate HL^- dans la crème étudiée, on mesure l'absorbance d'une solution test préparée de la même manière que les solutions étalons, soit en mélangeant :

- un volume $V_{crème}$ = 0,100 mL de la crème étudiée contre l'acné ;
- un volume de V_{fer} = 10,0 mL de solution S_{fer}.

L'absorbance mesurée à λ = 535 nm de cet échantillon a pour valeur : $A_{crème}$ = 0,83.

7. Indiquer la couleur de l'espèce chimique FeL^+ à partir de son spectre d'absorption (**figure 1**).

8. À partir de la **figure 2**, déterminer la quantité de matière en ions salicylate HL^- présente dans la crème et en déduire le pourcentage massique mesuré w_{mes} en ions salicylate dans la crème contre l'acné.

Il est possible de comparer une valeur expérimentale (w_{mes}) à la valeur de référence (w_{ref}) en utilisant le quotient $\frac{|w_{mes}-w_{ref}|}{u(w)}$, où $u(w)$ est l'incertitude-type sur le résultat expérimental.

Dans le cas présent, on considère que la valeur mesurée w_{mes} est compatible avec la valeur w_{ref} si le quotient est inférieur ou égal à 2.

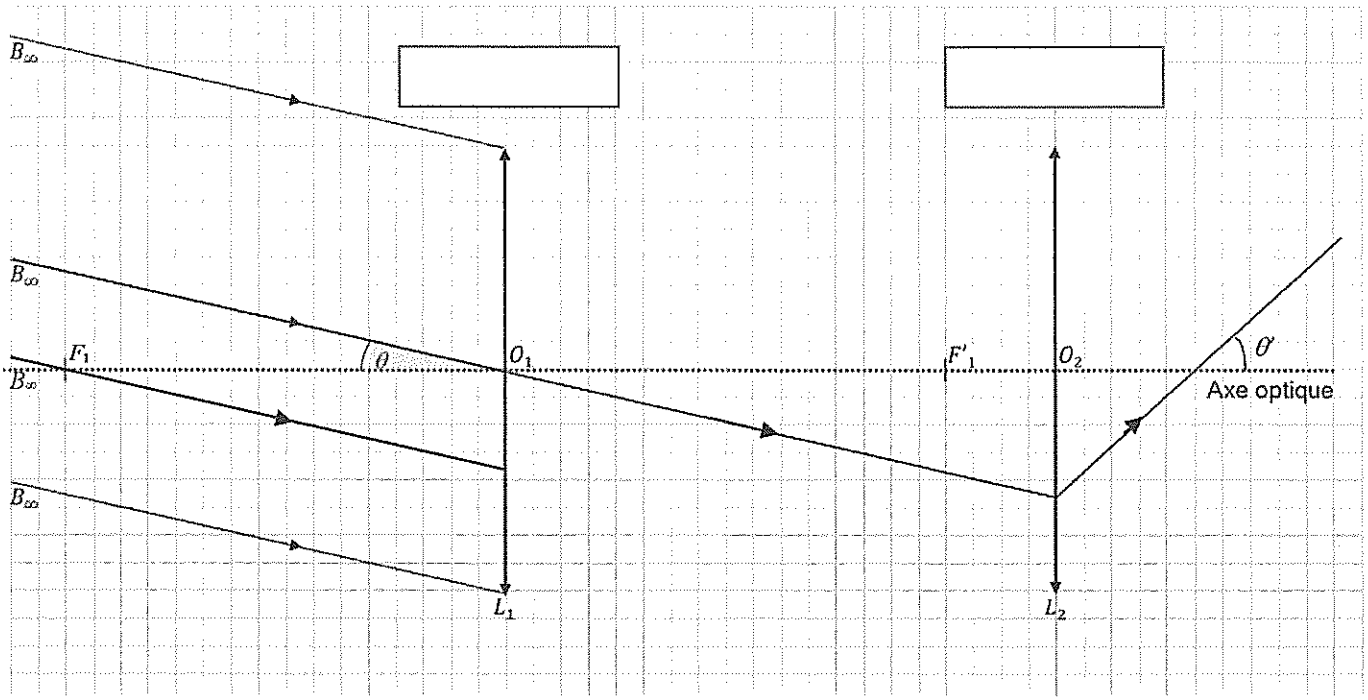
On admet que, pour ce dosage, $u(w)$ = 0,02 %.

9. Comparer le résultat obtenu expérimentalement à celui indiqué sur l'étiquette du flacon.

ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

EXERCICE I

Questions 4 et 5



EXERCICE III

Question 4

Tableau d'avancement en quantité de matière du milieu réactionnel (réaction **d'équation 1**).

On note x_{eq} l'avancement à l'état d'équilibre, en mol.

Équation	$Fe^{3+}_{(aq)}$ +	$HL^-_{(aq)}$ ⇆	$FeL^+_{(aq)}$ +	$H^+_{(aq)}$
État initial	$C_{fer} \times V_{fer}$	$C_1 \times V$	0	$n(H^+)$ constante
État équilibre				