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

SUJET D'EXAMEN (SESSION OFFICIELLE)

Physique-chimie - Session 2021

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 2021

PHYSIQUE-CHIMIE

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 collège » est autorisé.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Ce sujet comporte 15 pages numérotées de 1/15 à 15/15.

L'annexe page 15 est à rendre avec la copie.

Le candidat traite 3 exercices : l'exercice 1 puis il choisit 2 exercices parmi les 3 proposés.

EXERCICE 1 commun à tous les candidats (10 points)

SYNTHÈSE D'UN ARÔME

L'éthanoate de 3-méthylbutyle est une espèce chimique odorante présente notamment dans les pommes mûres. Son odeur agréable et sa faible toxicité permettent de l'utiliser comme arôme dans les bonbons. Cette espèce chimique appartient à la famille fonctionnelle des esters.
Cet exercice a pour objectif d'étudier dans un premier temps les espèces chimiques intervenant dans la synthèse de l'éthanoate de 3-méthylbutyle, puis d'étudier les conditions d'optimisation de cette synthèse.

Données :

- données physico-chimiques de quelques espèces chimiques :

Nom de l'espèce chimique en nomenclature officielle	3-méthylbutan-1-ol	Acide éthanoïque	Éthanoate de 3-méthylbutyle	Eau	Cyclohexane
Formule brute	$C_5H_{12}O$	$C_2H_4O_2$	$C_7H_{14}O_2$	H_2O	C_6H_{14}
Masse volumique ($g \cdot mL^{-1}$) à 25°C	0,81	1,05	0,87	1,00	0,78
Masse molaire ($g \cdot mol^{-1}$)	88,1	60,0	130,2	18,0	84,2
Solubilité dans l'eau à 25°C	Peu soluble	Très soluble	Très peu soluble		Très peu soluble

- tableau de quelques bandes d'absorption infrarouge :

Liaison	C = C	C = O	C – H	O – H d'un acide carboxylique	O – H d'un alcool
Nombre d'onde (cm^{-1})	1 550 à 1 650	1 650 à 1 800	2 800 à 3 100	2 500 à 3 200	3 200 à 3 500

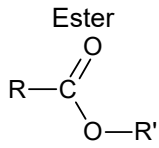
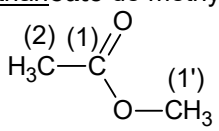
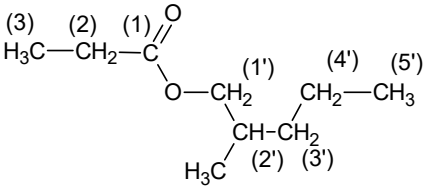
- règles de nomenclature :

- squelettes carbonés

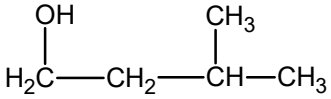
Pour les hydrocarbures ramifiés, *la position* de la ramification sur la chaîne principale est indiquée par un chiffre et *le groupe* est indiquée par le préfixe. Des exemples de groupes sont donnés ci-dessous :

Méthyl	*Éthyl*	*Propyl*	*Butyl*
$-CH_3$	$-CH_2-CH_3$	$-CH_2-CH_2-CH_3$	$-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$

- famille fonctionnelle des esters

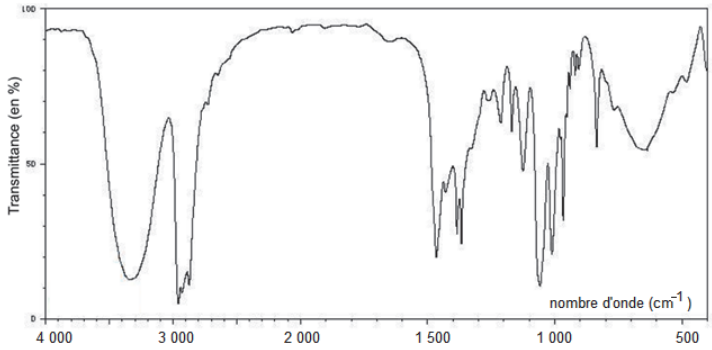
Famille	Nom	Suffixe	Exemples de molécules	
Ester 	Alcanoate d'alkyle	« **oate** »	Éthan**oate** de méthyle 	Propan**oate** de *2-méthyl*pentyle 

1. Des réactifs aux produits de la synthèse
Pour réaliser la synthèse de l'éthanoate de 3-méthylbutyle au laboratoire, on utilise les deux réactifs suivants : l'acide éthanoïque et le 3-méthylbutan-1-ol.

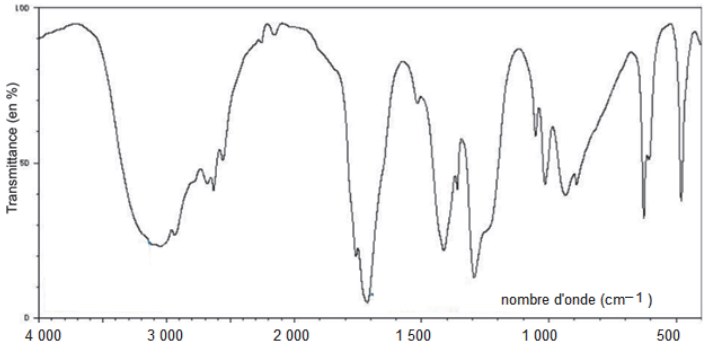
La représentation semi-développée du 3-méthylbutan-1-ol est : 

1.1. Justifier le nom du 3-méthylbutan-1-ol.
1.2. Donner la représentation topologique du 3-méthylbutan-1-ol et entourer le groupe caractéristique de la molécule. Nommer la famille fonctionnelle correspondante.

1.3. On donne (figure 1) les spectres infrarouges des deux réactifs. Identifier, en justifiant, le spectre correspondant au 3-méthylbutan-1-ol.



Spectre A



Spectre B

Figure 1. Spectres infrarouges des deux réactifs de la synthèse

1.4. Représenter la formule semi-développée de l'éthanoate de 3-méthylbutyle en exploitant les règles de nomenclature fournies.

2. Optimisation de la synthèse au laboratoire de l'éthanoate de 3-méthylbutyle

La synthèse de l'éthanoate de 3-méthylbutyle est une transformation lente et non totale.

Protocole de la synthèse :

Verser dans un ballon un volume V_1 de 3-méthylbutan-1-ol, une masse m_2 d'acide éthanoïque et un volume V_3 d'acide sulfurique concentré.

Comme indiqué sur la figure 2, le ballon, surmonté d'un réfrigérant à air, est placé dans un bain-marie maintenant la température constante.

Pour montrer l'influence de certaines conditions expérimentales sur cette synthèse, quatre expériences sont réalisées. Le tableau ci-après présente les résultats expérimentaux pour quatre conditions différentes.

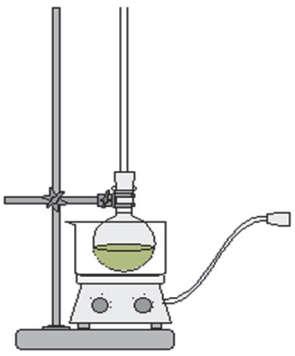


Figure 2. Schéma du montage expérimental

	Expérience 1	Expérience 2	Expérience 3	Expérience 4
Température (°C)	30	30	60	60
Volume initial V_1 de 3-méthylbutan-1-ol (mL)	12,0	12,0	12,0	36,0
Masse initiale m_2 d'acide éthanoïque (g)	6,62	6,62	6,62	6,62
Volume V_3 d'acide sulfurique (mL)	0	0,5	0,5	0,5
Ordre de grandeur du temps de demi-réaction	Plusieurs mois	Plusieurs heures	Une dizaine de minutes	Inférieur à une dizaine de minutes

2.1. Écrire à l'aide des formules brutes, l'équation de la réaction modélisant la synthèse de l'éthanoate de 3-méthylbutyle, sachant qu'une autre espèce chimique à identifier est aussi produite. Justifier.

2.2. En exploitant les résultats expérimentaux, indiquer les conditions expérimentales permettant d'optimiser la cinétique de cette synthèse.

2.3. Détermination expérimentale du rendement de la synthèse de l'expérience 3.

2.3.1. Déterminer les quantités de matière des réactifs dans le mélange initial de l'expérience 3 et donner un qualificatif à ce mélange initial.

2.3.2. La masse d'éthanoate de 3-méthylbutyle obtenue en fin de réaction est de m_3 = 6,20 g. Déterminer le rendement de la synthèse dans l'expérience 3. Commenter.

2.4. Détermination expérimentale du rendement de la synthèse de l'expérience 4.

À la fin de la synthèse, on sépare la phase aqueuse de la phase organique formée dans le ballon. Cette phase aqueuse contient l'acide éthanoïque qui n'a pas réagi et l'acide sulfurique. Ces deux acides sont responsables de l'acidité totale de la solution.

On réalise un titrage acido-basique de cette phase aqueuse, avec comme solution titrante une solution aqueuse d'hydroxyde de potassium ($K^+(aq)$; $HO^-(aq)$) de concentration C_B = 1,0 mol·L^{-1} . Ce titrage est suivi par pH-métrie et les courbes pH = f(V_B) et $\frac{dpH}{dV}$ = f(V_B) sont représentées à la figure 3.

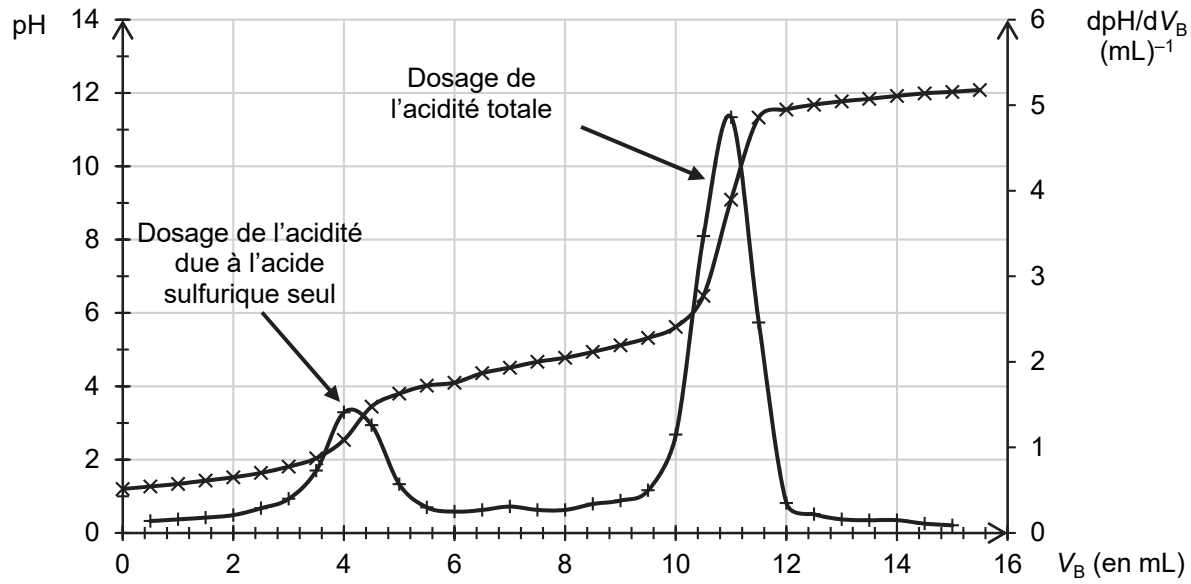


Figure 3. Courbes expérimentales obtenues lors du titrage de la phase aqueuse obtenue à l'issue de l'expérience 4

2.4.1. Écrire l'équation de la réaction support du titrage entre l'acide éthanoïque et l'ion hydroxyde.

2.4.2. Déterminer le volume d'hydroxyde de potassium nécessaire pour titrer l'acide éthanoïque.

2.4.3. En déduire la quantité de matière d'acide éthanoïque restant à la fin de la synthèse dans l'expérience 4.

2.4.4. Déterminer la quantité de matière d'ester formé et calculer le rendement de la synthèse dans l'expérience 4. En déduire un moyen d'optimiser le rendement de cette synthèse.

3. Amélioration du rendement de la synthèse grâce à l'utilisation d'un tube décanteur de Dean-Stark

On réalise de nouveau l'expérience 3 mais en utilisant un dispositif de Dean-Stark (voir figure 4), qui permet de séparer en continu l'eau formée du reste du milieu réactionnel.
Le tube décanteur de ce dispositif est initialement vide. Un volume de 30 mL de cyclohexane est ajouté initialement dans le milieu réactionnel, puis on chauffe à reflux le mélange réactionnel.

On suppose que seuls l'eau et le cyclohexane se vaporisent alors que les réactifs et l'éthanoate de 3-méthylbutyle restent dans le ballon. Le cyclohexane et l'eau se liquéfient dans le réfrigérant à eau et tombent dans le tube décanteur du Dean-Stark. Lorsque le tube décanteur est plein, l'excès de phase A s'écoule dans le mélange réactionnel.

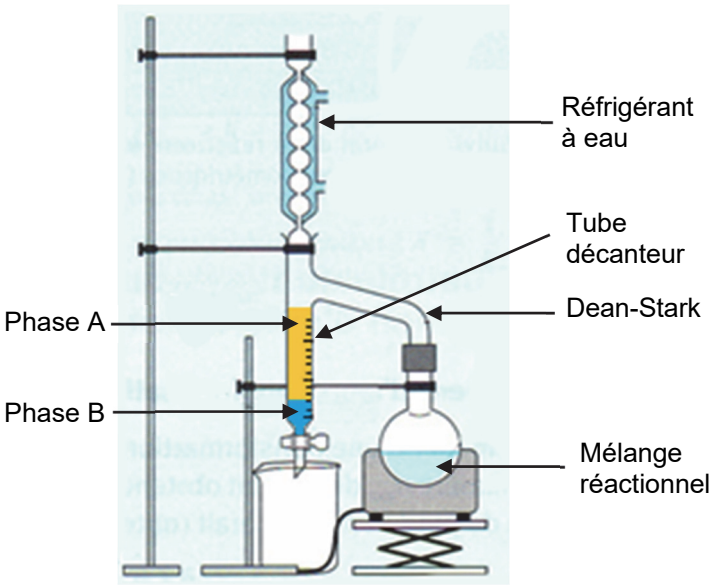


Figure 4. Schéma du montage avec dispositif Dean-Stark

3.1. Identifier la nature des phases A et B présentes dans le tube décanteur. Justifier.

3.2. Indiquer l'intérêt de ce dispositif pour optimiser cette synthèse.

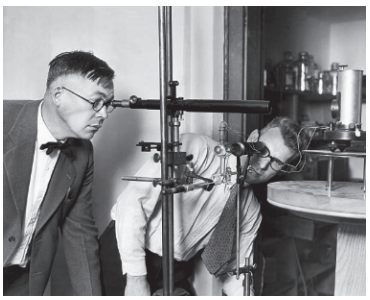
3.3. Lorsque la transformation est terminée, le volume d'eau recueilli dans le tube décanteur est de V = 1,8 mL. En déduire la quantité de matière d'ester formé. Conclure quant à l'efficacité de ce dispositif.

EXERCICES au choix du candidat (5 points)
Vous indiquerez sur votre copie **les 2 exercices choisis** :
exercice **A** ou exercice **B** ou exercice **C**

EXERCICE A- PUISSANCE RAYONNÉE PAR LA LUNE

Mots-clés : lunette astronomique ; évolution de la température d'un système

En 1939, les physiciens Pettit et Nicholson ont étudié la température de surface de la Lune à partir de la mesure de la puissance émise par la Lune lors de l'éclipse lunaire du 28 octobre 1939.
Cet exercice décrit une expérience menée au laboratoire pour déterminer la puissance lumineuse surfacique au niveau de la surface de la Terre lors d'une pleine Lune.


Pettit & Nicholson 1926
(Archives Underwood)

On s'intéresse d'abord à un dispositif de détection qui permet de capter la lumière issue de la Lune, puis on étudie un capteur thermique afin de déterminer la puissance lumineuse surfacique rayonnée lors d'une pleine Lune sur le sol terrestre.

1. Dispositif optique de détection

Pour déterminer la puissance émise par la Lune, Edison Pettit a placé un capteur de température au foyer du télescope du Mont Wilson.
On reproduit l'expérience de Pettit au laboratoire en utilisant une lunette afocale. La lumière diffusée par la Lune est ainsi concentrée sur un capteur de température fixé au foyer image de l'objectif de la lunette.
L'objectif de la lunette est modélisé par une lentille convergente de distance focale f_1' = 101 cm, l'oculaire est modélisé par une lentille convergente de distance focale f_2'.
Le capteur de température se présente sous la forme d'un petit carré noir de 0,8 mm de côté.

1.1 Énoncer la condition sur les positions du foyer image de l'objectif et du foyer objet de l'oculaire pour que la lunette soit afocale.

1.2 Préciser sur le schéma de la lunette afocale, en **ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE,** la position du capteur de température.

1.3 Représenter sur ce même schéma, en **ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE,** le faisceau émergent issu d'une région d'un astre lointain incliné d'un angle α par rapport à l'axe optique et traversant la lunette afocale.

1.4 La « Mer » de la Tranquillité est une vaste plaine circulaire facilement repérable sur la Lune. L'axe de la lunette est pointé sur le centre de la « Mer » de la Tranquillité. L'angle sous lequel on voit cette région à l'œil nu depuis la Terre est $2\alpha = 2{,}3 \cdot 10^{-3}$ rad.
Pour optimiser la mesure, le capteur de température doit être au moins éclairé par l'image de la zone étudiée.
Déterminer si la taille de l'image intermédiaire permet une mesure optimale.

2. Étude du capteur de température exposé au rayonnement du Soleil

On étudie maintenant un capteur de température de type « thermocouple » de capacité thermique C. La température indiquée par ce capteur peut être reliée à la puissance rayonnée qu'il reçoit.

Pour déterminer la résistance thermique R_{th} liée au transfert thermique entre le milieu extérieur et le capteur, on étudie le comportement au cours du temps du capteur exposé directement au rayonnement solaire (sans utiliser la lunette étudiée précédemment).

La température du milieu extérieur dans lequel se trouve le capteur est supposée constante et notée T_0 pendant toute la durée de l'expérience.

- L'étude est conduite entre t et $t + \Delta t$, Δt est supposé petit devant la durée typique de l'évolution de la température du thermocouple.
- À l'état initial $t = 0$ s, le capteur est dans l'obscurité et à l'équilibre thermique : sa température est égale à T_0.
- À $t > 0$ s, on expose le capteur à la lumière du Soleil ce qui fait augmenter sa température T. On note P_{lum} la puissance lumineuse reçue par le capteur, elle est supposée constante.

Il se produit alors un transfert thermique du capteur de température T vers le milieu extérieur de température T_0. Dans la suite de l'exercice, le capteur est choisi comme système.

2.1. La puissance thermique échangée avec le milieu extérieur par le système a pour expression :

$$P_{th} = \frac{T_0 - T}{R_{th}}$$

2.2. Commenter le signe de cette puissance.

2.3. Exprimer la variation d'énergie interne du capteur ΔU en fonction de sa capacité thermique et de la variation ΔT de sa température au cours du temps Δt.

2.4. Relier la variation d'énergie interne ΔU du capteur à la puissance thermique P_{th} et à la puissance lumineuse reçue P_{lum} pendant une durée Δt.

2.5. En déduire pour des durées Δt tendant vers 0 que la température $T(t)$ du capteur de température vérifie l'équation différentielle suivante :

$$\frac{dT}{dt} + \frac{T(t)}{R_{th} \times C} = \frac{T_0}{R_{th} \times C} + \frac{P_{lum}}{C}$$

2.6. Lorsque la température finale est atteinte par le capteur au bout d'une durée suffisamment longue, l'expression de la puissance lumineuse est $P_{lum} = \frac{(T_\infty - T_0)}{R_{th}}$ avec $T\infty$ la température finale atteinte par le capteur. Retrouver cette expression à partir de l'équation différentielle de la question **2.5.**

On admet que l'étude expérimentale permet de déterminer la valeur de la résistance thermique : $R_{th} = 3x10^4$ K.W^{-1}.

3. Mesure de la puissance surfacique au niveau du sol terrestre lors d'une pleine Lune

Pour déterminer la puissance surfacique φ_{lune} au niveau du sol terrestre lors d'une pleine Lune, on place ce capteur au foyer image de l'objectif d'une lunette.
La puissance P_{lum} reçue par le capteur est amplifiée d'un facteur 500 par la lunette utilisée.
On relève la température du capteur au cours du temps. La température se stabilise au bout de 250 s et on mesure alors $T\infty - T_0 = 4{,}2\times10^{-2}$ K.

Question : sachant que la surface exposée du capteur utilisé lors de l'expérience est $S = 5{,}0\times10^{-7}$ m^2, évaluer la puissance surfacique φ_{lune} au niveau du sol terrestre.
Comparer ensuite la valeur expérimentale à la puissance surfacique moyenne obtenue au niveau du sol terrestre lors d'une pleine Lune : $\varphi_{lune} = 5$ mW·m^{-2}.

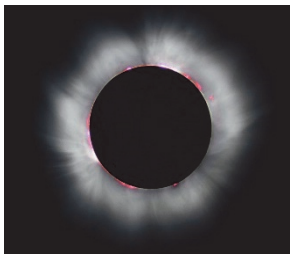
Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et nécessite d'être correctement présentée.

EXERCICE B- AU PLUS PRÈS DU SOLEIL ET DE SA COURONNE

Mots-clés : énergie d'un photon ; mouvement dans un champ gravitationnel

La couronne solaire correspond à l'atmosphère du Soleil, elle est observable durant les éclipses de Soleil. C'est une couche de gaz dans laquelle les atomes sont fortement ionisés ; certains atomes peuvent perdre jusqu'à 15 électrons. L'énergie nécessaire pour arracher ces électrons est considérable et résulte de la température de la couronne solaire qui est de l'ordre de quelques millions de degrés. Le gaz de la couronne solaire est rendu visible par les rayonnements émis par ses atomes ionisés.

D'après « La couronne solaire, E. Maurice, L'Astronomie,1963 »



Source : wikipedia.

L'objectif de cet exercice est d'étudier le rayonnement émis par les atomes métalliques fortement ionisés de la couronne solaire, puis le mouvement de la sonde PSP (pour « *Parker Solar Probe* ») envoyée en 2018 pour recueillir des informations sur la couronne solaire.

1. Étude du rayonnement émis par les atomes ionisés de la couronne solaire

Les radiations caractéristiques de la couronne solaire sont dues à la formation des ions Fe^{9+}, Fe^{13+}, Ni^{14+} et Ca^{14+} et résultent de la transition d'un électron entre deux états d'énergie différents de chacun de ces ions.

Données :

- 1 eV = $1{,}6\times10^{-19}$ J ;
- constante de Planck : $h = 6{,}63\times10^{-34}$ J·s ;
- la valeur de la célérité c de la lumière dans le vide est supposée connue du candidat ;
- relation entre l'énergie associée à une transition énergétique et la longueur d'onde de la radiation rayonnée :

$$E = \frac{h\cdot c}{\lambda}$$

- informations sur certaines radiations émises par des ions présents dans la couronne solaire :

Ions	Longueur d'onde (en m)	Énergie associée à la transition (en eV)
Fe^{13+}	λ (Fe^{13+})	E (Fe^{13+})
Ca^{14+}	$5{,}694\times10^{-7}$	2,18
Fe^{9+}	$6{,}374\times10^{-7}$	1,94
Ni^{14+}	$6{,}701\times10^{-7}$	1,85

Le spectre d'émission suivant a été obtenu lors de l'éclipse totale du Soleil du 29 mars 2006 en Turquie. Ce spectre montre la raie correspondant aux ions Fe^{13+} de la couronne solaire.

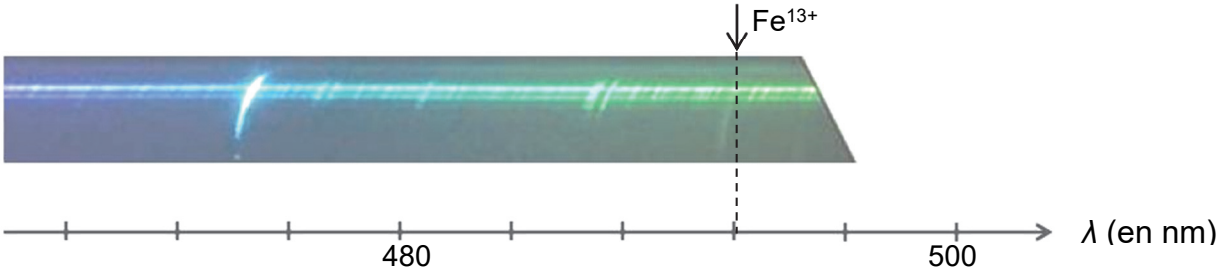


Figure 1. Partie du spectre d'émission (entre 470 nm et 540 nm) de la couronne solaire obtenue lors de l'éclipse totale du Soleil du 29 mars 2006

Source : Thèse de Doctorat de Cyril Bazin, 10 octobre 2013, Université Aix-Marseille

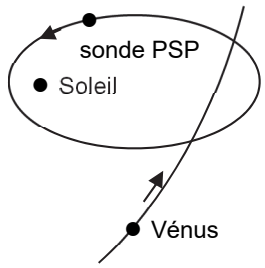
1.1. Donner la valeur de la longueur d'onde $\lambda(Fe^{13+})$ de la radiation émise par l'ion Fe^{13+} en nm et en m.
1.2. Préciser, en justifiant, le domaine des ondes (UV, visible, X, IR, etc.) associé à cette valeur.
1.3. Calculer la valeur de la transition d'énergie $E(Fe^{13+})$, en J puis en eV, correspondant à la raie d'émission de l'ion Fe^{13+}.

2. La sonde PSP et l'assistance gravitationnelle de Vénus

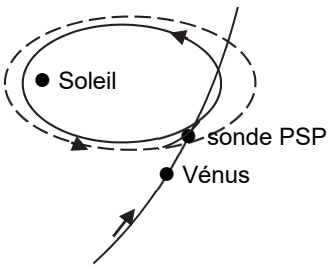
Données :
- masse du Soleil : $M_S = 1{,}99\times10^{30}$ kg ;
- rayon du Soleil : $R_S = 6{,}96\times10^{5}$ km ;
- constante universelle de la gravitation : $G = 6{,}67\times10^{-11}$ $m^3\cdot kg^{-1}\cdot s^{-2}$.

La sonde PSP est un observatoire solaire spatial développé par l'agence spatiale américaine, la NASA, dont le lancement a eu lieu le 12 août 2018. Son objectif est d'étudier la couronne solaire en explorant une région inexplorée de l'espace située à proximité du Soleil.

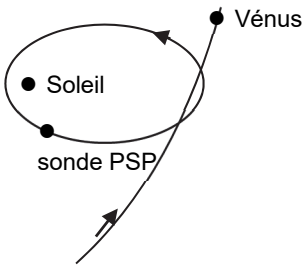
Une fois la sonde placée dans l'espace, hors du champ gravitationnel de la Terre, elle suit son voyage en direction du Soleil. Au cours de ses différentes révolutions autour du Soleil, la sonde PSP passera sept fois près de Vénus, ce qui modifiera sa trajectoire et lui permettra après chaque rencontre de se rapprocher du Soleil.



Lorsque la sonde PSP est loin de Vénus, sa trajectoire autour du Soleil n'est pas modifiée. Initialement, elle est sur une orbite haute.



Lorsque la sonde PSP est proche de Vénus, sa trajectoire autour du Soleil est modifiée. Elle passe par une orbite de transfert.



Lorsque la sonde PSP est loin de Vénus, sa trajectoire autour du Soleil n'est pas modifiée. Elle est maintenant sur une orbite basse.

Figure 2. Schémas illustrant l'influence de Vénus sur la trajectoire de la sonde PSP

La courbe ci-après montre l'évolution de la distance séparant la sonde PSP du Soleil en fonction de la durée. La partie claire de la courbe montre la portion de trajectoire déjà parcourue au 20 mai 2020. La partie sombre présente la trajectoire modélisée par la NASA restant à parcourir par la sonde. Les sept rencontres avec Vénus sont délimitées par des traits pointillés.

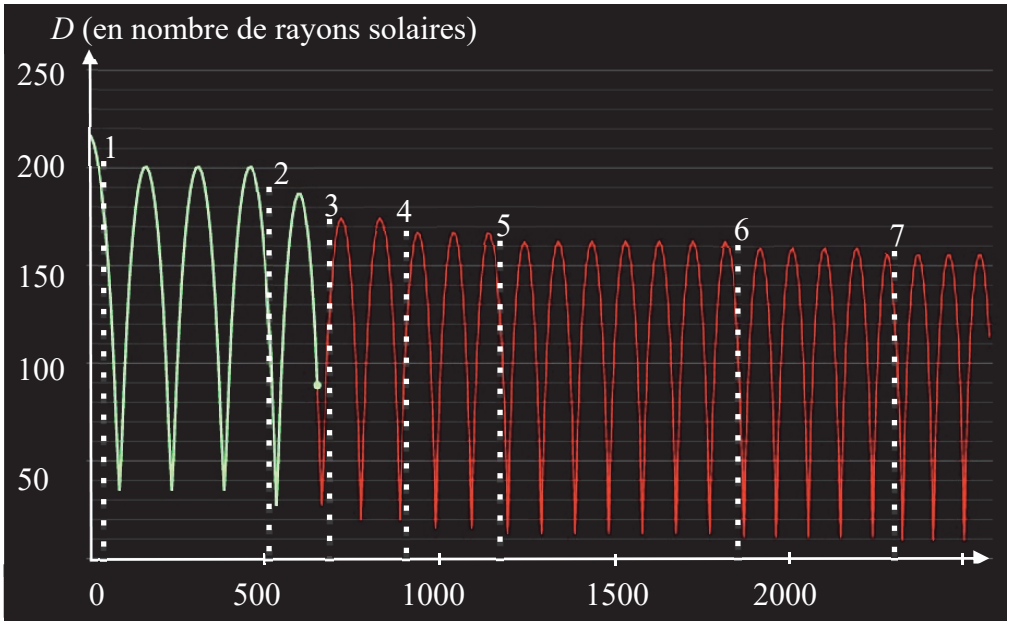


Figure 3. Courbe montrant l'évolution de la distance séparant la sonde PSP du Soleil en fonction de la durée

2.1. Estimer, entre la 1re et la 2e rencontre avec Vénus, les valeurs de :

- la période de révolution de la sonde PSP en jours ;
- la distance maximale entre le Soleil et la sonde PSP en km ;
- la distance minimale entre le Soleil et la sonde PSP en km.

Après la 7e rencontre, on donne les valeurs suivantes :

Période de révolution (en jours)	Distance maximale entre le centre du Soleil et la sonde PSP (en km)	Distance minimale entre le centre du Soleil et la sonde PSP (en km)
87	$1{,}1\times10^{8}$	$7{,}0\times10^{6}$

Tableau 1. Valeurs obtenues après la 7e période

2.2. Dans le cas d'un mouvement circulaire uniforme, la vitesse de la sonde PSP sur son orbite autour du Soleil a pour expression :

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

avec R le rayon de l'orbite de la sonde PSP autour du Soleil.
On note T la période de révolution de la sonde PSP autour du Soleil.

Montrer que les grandeurs T et R vérifient la relation :

$$\frac{T^2}{R^3} = 2{,}97 \times 10^{-19}\ \text{s}^2\cdot\text{m}^{-3}$$

On admet que pour des trajectoires elliptiques, le rayon de l'orbite est remplacé par le demi grand-axe de l'ellipse, défini par $a = \frac{D_{max} + D_{min}}{2}$.

2.3. Vérifier que les valeurs du tableau 1 sont en accord avec la relation précédente.

3. Estimation du record de vitesse de la sonde PSP

Les scientifiques de la NASA ont calculé avec une grande précision les positions successives de la sonde autour du Soleil au cours de son voyage. On s'intéresse au mouvement de la sonde PSP après sa septième rencontre avec la planète Vénus.

Des données modélisées et fournies par la NASA sont rassemblées ci-dessous. Elles indiquent les positions de la sonde autour du Soleil tous les 12 jours et 22 heures.

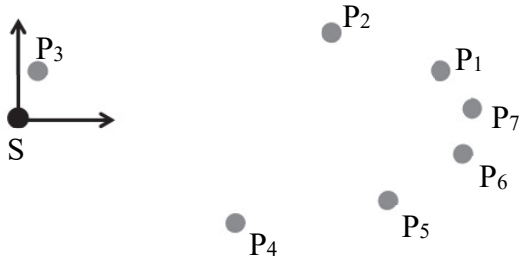


Figure 4. Modélisation des positions de la sonde PSP autour du Soleil.

positions	date et heure (GMT)	distance au Soleil (km)	vitesse dans le référentiel héliocentrique ($km \cdot s^{-1}$)
1	27/11/2024 12h17min	98 130 368	20,5
2	10/12/2024 10h17min	72 065 937	37,4
3	23/12/2024 8h17min	13 461 628	131,2
4	5/1/2025 6h17min	65 266 512	42,3
5	18/1/2025 4h17min	94 856 493	22,7
6	31/1/2025 2h17min	107 773 300	13,4
7	13/2/2025 0h17min	107 908 666	13,3

Tableau 2. Données modélisées de la position et vitesse de la sonde

Données :

- le référentiel héliocentrique est un référentiel défini par le centre du Soleil dont les axes pointent vers trois étoiles fixes ;
- définition du périhélie : point de la trajectoire d'un corps en orbite autour du Soleil le plus proche du Soleil ;
- définition de l'aphélie : point de la trajectoire d'un corps en orbite autour du Soleil le plus éloigné du Soleil.

3.1. Énoncer la loi de Kepler permettant de justifier l'allure de la trajectoire de la sonde PSP autour du Soleil représentée dans la figure 4.

3.2. Parmi les points donnés dans le tableau 2, donner la date la plus proche à laquelle la sonde atteint l'aphélie de sa trajectoire.

EXERCICE C- CESTA PUNTA

Mots-clés : Mouvement dans un champ de pesanteur uniforme ; énergie

La pelote basque est un sport de balle se pratiquant à main nue, avec une raquette en bois ou avec un chistera (gant en osier). La cesta punta est une des spécialités de la pelote basque. Le jeu consiste à renvoyer la balle servie par l'adversaire avec un chistera sur le mur appelé le fronton.
Le service s'effectue sur un terrain rectangulaire sur lequel des lignes de référence sont tracées. Le service s'effectue à 36 mètres du mur, il est réussi lorsque la balle, après avoir rebondi contre le mur, retombe entre les lignes 4 et 7.



Source FFPB

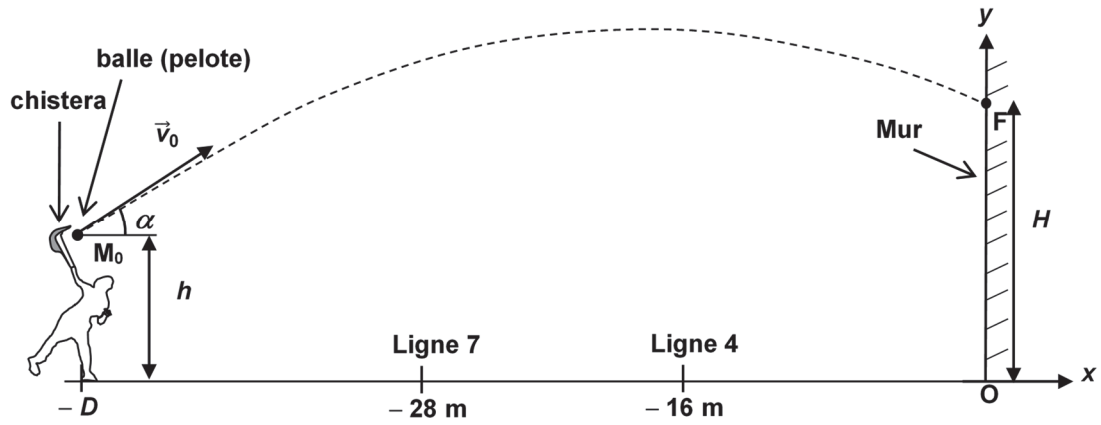


Figure 1. Schéma, qui n'est pas à l'échelle, d'un terrain de pelote basque et allure de la trajectoire de la balle

Dans le référentiel terrestre supposé galiléen muni du repère (Ox ; Oy), une balle supposée ponctuelle est envoyée par un joueur depuis un point M_0 de coordonnées $x_0 = -D$ et $y_0 = h$. Grâce à son chistera, le joueur lance la balle à une vitesse initiale de norme v_0 dont le vecteur $\vec{v}_0$ forme un angle α avec l'horizontale. Le mouvement de la balle s'effectue dans le champ de pesanteur ; on néglige l'influence de l'air.
Le moment où la balle quitte le chistera est choisi comme origine des dates : $t_0 = 0$ s.
Le but de cet exercice est d'étudier, à l'aide du modèle de la chute libre, le mouvement de la balle afin de prévoir si le service est réussi. Le mouvement est décomposé en deux phases : avant puis après le rebond sur le mur.

Données :

- $D = 36$ m ;
- masse de la balle : $m = 126$ g ;
- valeur mesurée à l'aide d'un radar de la vitesse initiale de la balle : $v_0 = 36{,}2$ m·s^{-1} ;
- $\alpha = 12°$;
- intensité de la pesanteur : $g = 9{,}81$ m·s^{-2}.

1. Mouvement de la balle avant le rebond sur le mur

1.1. Indiquer l'information de l'énoncé permettant de formuler l'hypothèse que le mouvement de la balle s'effectue dans le cadre du modèle de la chute libre.

1.2. En appliquant la deuxième loi de Newton, montrer que l'équation horaire du mouvement de la balle selon l'axe O*x* est :

$$x(t) = v_0 \times \cos(\alpha)\, t - D$$

1.3. Montrer que la balle frappe le mur à la date t_F = 1,0 s.

2. Étude énergétique de la balle avant le rebond sur le mur

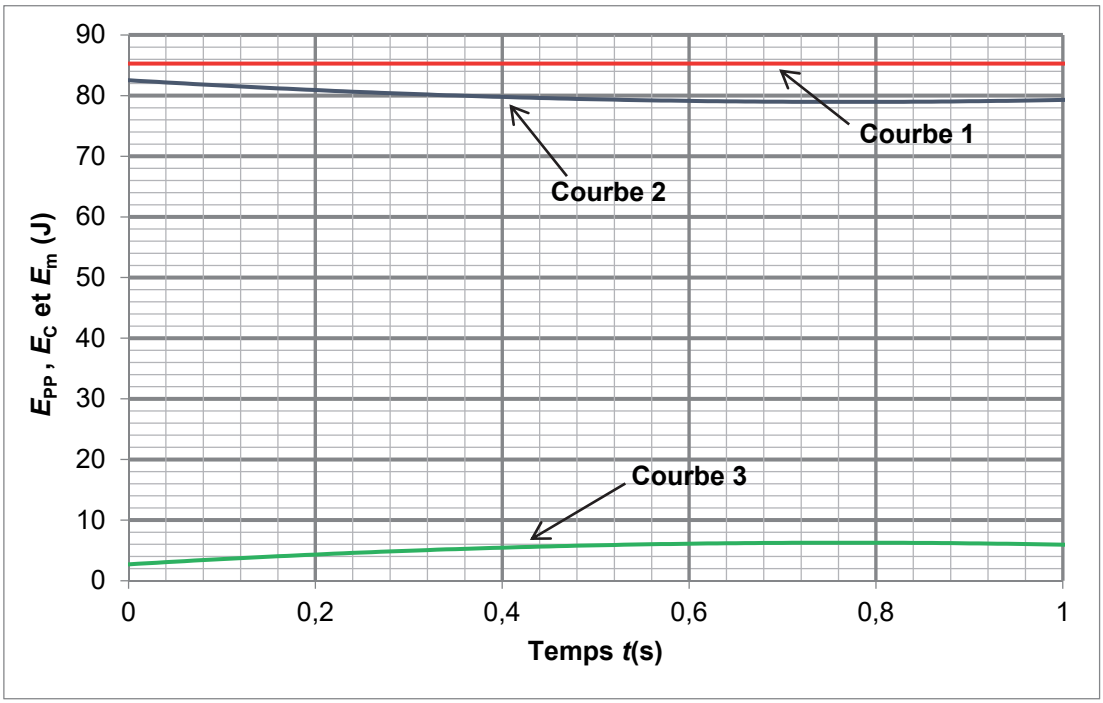


Figure 2. Courbes simulées, à l'aide du modèle de la chute libre, des énergies de la balle avant le rebond

2.1. Rappeler les expressions littérales de l'énergie cinétique E_c, de l'énergie potentielle de pesanteur E_{pp} et de l'énergie mécanique E_m de la balle. L'énergie potentielle de pesanteur est choisie nulle à l'ordonnée y = 0 m. On note v la norme du vecteur vitesse de la balle.

2.2. Calculer la valeur de l'énergie cinétique E_c à la date t = 0 s.

2.3. En explicitant votre raisonnement, identifier pour chaque courbe de la figure 2 la forme d'énergie correspondante.

2.4. À l'aide de la figure 2, évaluer la valeur de la hauteur H de la balle lorsqu'elle touche le mur au point F.

3. Mouvement de la balle après le rebond sur le mur

La balle rebondit sur le mur en F. On fait l'hypothèse que la balle repart à la vitesse $v_F = 35\ m \cdot s^{-1}$. L'instant du rebond est choisi comme nouvelle origine des dates dans cette partie.
La balle, après avoir rebondi contre le mur, doit retomber entre les lignes 4 et 7 pour que le service soit réussi. Si la ligne 4 n'est pas dépassée, le point est acquis à l'adversaire. Si la ligne 7 est dépassée, le joueur a droit à un second et dernier service.
Le mouvement de la balle est étudié dans le référentiel terrestre supposé galiléen muni du repère (Ox ; Oy) défini sur la figure 1. L'étude de ce mouvement permet d'établir les équations horaires de la balle :

$$x(t) = -34{,}9\,t \qquad \text{et} \qquad y(t) = -4{,}9\,t^2 - 2{,}4\,t + 4{,}9$$

avec x et y exprimés en mètre et t en seconde.

3.1. Évaluer la valeur de la vitesse v_F à partir des équations horaires de la balle. Comparer avec la valeur donnée ci-dessus.

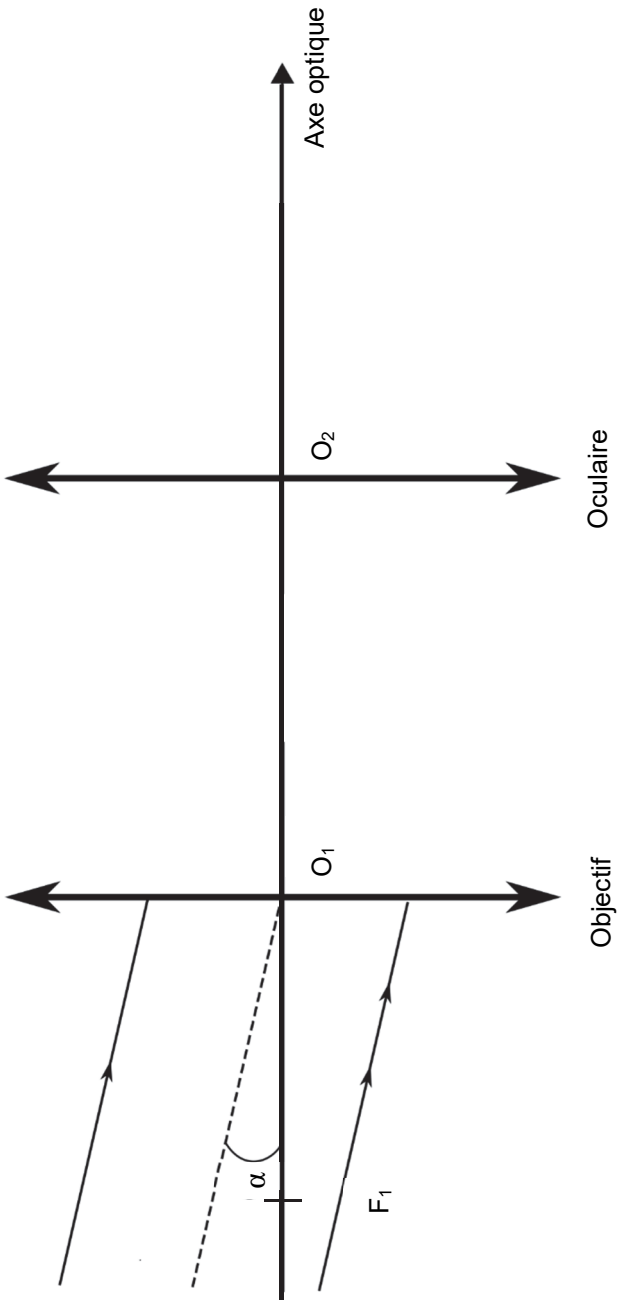
3.2. Interpréter la valeur du coefficient du terme en t^2 dans l'expression de $y(t)$. Préciser son unité.

À l'aide des équations horaires, on établit que l'équation cartésienne de la trajectoire de la balle est :

$$y = -4{,}0.10^{-3}\,x^2 + 6{,}9.10^{-2}\,x + 4{,}9 \qquad \text{avec } x \text{ et } y \text{ exprimés en mètre.}$$

3.3. Le service effectué est-il réussi ?

ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE



Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2