

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

NOVEMBRE 2022

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 collègue » est autorisé.*

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Ce sujet comporte 14 pages numérotées de 1/14 à 14/14.

Le candidat traite obligatoirement les 4 exercices

EXERCICE 1 – CONTRÔLE DE LA LARGEUR D'UN FIL DE SUTURE (4 points)

Mots-clés : onde lumineuse

Un fil de suture en chirurgie permet de rapprocher les deux bords d'une plaie afin de faciliter la cicatrisation. Le diamètre, la forme et la composition chimique des fils sont adaptés au type de tissu à recoudre (peau, muscle, tendon, nerf, etc.) mais aussi à la durée de cicatrisation et à la taille de la plaie.

Lors de la fabrication d'un fil, les industriels peuvent notamment contrôler son diamètre à l'aide d'appareils (figure 1) utilisant un phénomène physique observable lorsque le laser envoie une onde de longueur d'onde λ sur un fil fin (figure 2).



Figure 1. Appareil conçu pour contrôler le diamètre de fils fins.

Dans cet exercice, on étudie le principe physique utilisé dans un appareil de contrôle du diamètre d'un fil puis on s'intéresse à un fil de suture vendu en pharmacie.

Données :

- longueur d'onde du laser utilisé : $\lambda = 532 \text{ nm}$;
- pour des angles θ très petits devant 1 rad, on a : $\tan(\theta) \approx \theta$ avec θ en radian ;
- extrait de la nomenclature américaine dite « USP » et correspondance avec le diamètre des fils :

Système USP	0	2/0	3/0	4/0	5/0
Diamètre du fil en mm	0,350 à 0,399	0,300 à 0,349	0,200 à 0,299	0,150 à 0,199	0,100 à 0,149

1. Principe physique utilisé par un appareil de contrôle du diamètre d'un fil

Pour illustrer ce principe au laboratoire, on place, sur un banc d'optique, un laser émettant une onde de longueur d'onde λ et un fil de diamètre a connu. Un écran est placé à une distance D du fil. On visualise sur l'écran, une tache centrale de largeur L (figure 2).

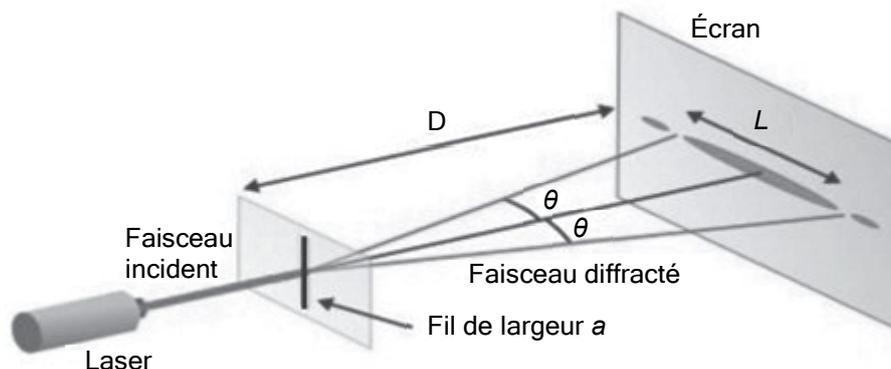


Figure 2. Montage illustrant le principe physique utilisé par l'appareil de contrôle du diamètre d'un fil

1. Rappeler les notions d'onde et de longueur d'onde.
2. Quel est le nom du phénomène physique observé par ce dispositif ?
3. Rappeler la relation qui lie l'angle θ la longueur d'onde λ et la largeur a du fil.

Indiquer qualitativement comment évolue l'angle caractéristique de diffraction θ avec le diamètre a du fil.

4. Écrire, à l'aide de la figure 2, la relation entre l'angle caractéristique de diffraction θ et les grandeurs D et L .

5. Établir l'expression de la largeur L de la tache centrale de la figure de diffraction en fonction de λ , D et a .

On réalise la mesure de la largeur de la tache centrale de la figure de diffraction pour sept fils de diamètres a connus. On représente alors L en fonction de $1/a$.

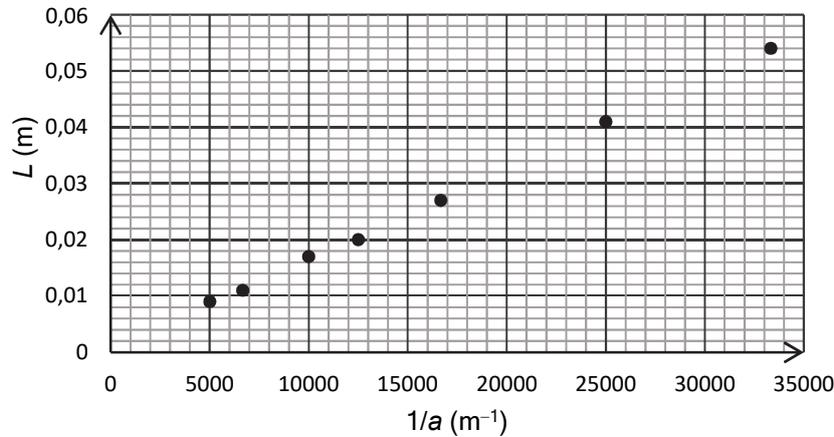


Figure 3. Représentation graphique de L en fonction de $1/a$

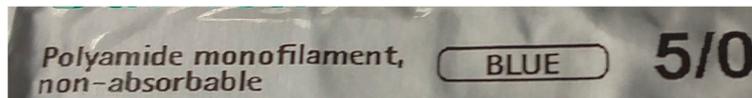
6. Vérifier que les résultats expérimentaux de la figure 3 sont cohérents avec l'expression établie à la question 5.
7. Montrer que la modélisation suivante permet de rendre compte des résultats expérimentaux :

$$L = 1,6 \times 10^{-6} \times \frac{1}{a}$$

avec a et L exprimés en mètre.

2. Mesure du diamètre d'un fil de suture vendu en pharmacie

Une partie de l'étiquette du paquet contenant un fil de suture en polyamide de couleur bleue vendu en pharmacie est présentée ci-dessous.



On obtient la figure de diffraction suivante (figure 4) en utilisant le montage expérimental décrit sur la figure 2.

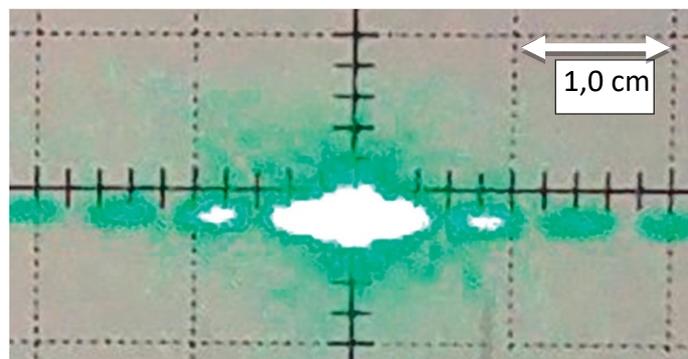


Figure 4. Photographie de l'écran de l'appareil de contrôle

8. En utilisant la figure 4, estimer la valeur du diamètre de ce fil de suture. Bien détailler le raisonnement et donner le résultat en mm.
9. La valeur du diamètre du fil de suture est-il en accord avec les indications de l'étiquette ?

EXERCICE 2 – LA SPIRULINE (4 points)

Mots-clés : dosage, absorbance, incertitudes

La spiruline est un produit à base de cyanobactéries généralement séchées et broyées. Ce produit est vendu en tant que complément alimentaire supposé améliorer le tonus et la vitalité. La spiruline est très riche en phycocyanine, un pigment bleu, également utilisé comme colorant alimentaire naturel.

Une entreprise commercialisant de la spiruline déshydratée utilise la teneur en phycocyanine comme critère qualité pour sa production.

Pour une qualité optimale du produit fabriqué, **la teneur en phycocyanine doit être comprise entre 10 et 15 grammes pour 100 grammes de spiruline déshydratée.**



Dans la **partie A**, on s'intéresse à la validité d'une méthode de dosage par spectrophotométrie ; dans la **partie B**, on utilise cette méthode pour déterminer la qualité de la spiruline.

Partie A – Validité d'une méthode de dosage

On met en œuvre une méthode de dosage de la phycocyanine par spectrométrie suivant le protocole ci-après :

- On dispose d'une solution mère de phycocyanine, notée S_0 , de concentration en masse. $C_0 = 25,0 \text{ mg/L}$.
- Préparer une gamme de cinq solutions notées S_1, S_2, S_3, S_4, S_5 , par dilution à partir de la solution mère.
- Mesurer l'absorbance A de chacune des cinq solutions à une longueur d'onde fixée.
- Tracer le graphique présentant l'absorbance en fonction de la concentration.
- Mesurer l'absorbance de la solution aqueuse étudiée et en déduire sa concentration par lecture graphique.

Données

- On considère que, dans les solutions étudiées, seule la phycocyanine absorbe la lumière dans la gamme de longueurs d'onde considérée.
- Le spectre d'absorption d'une solution aqueuse de phycocyanine est donné ci-contre (Figure 1).

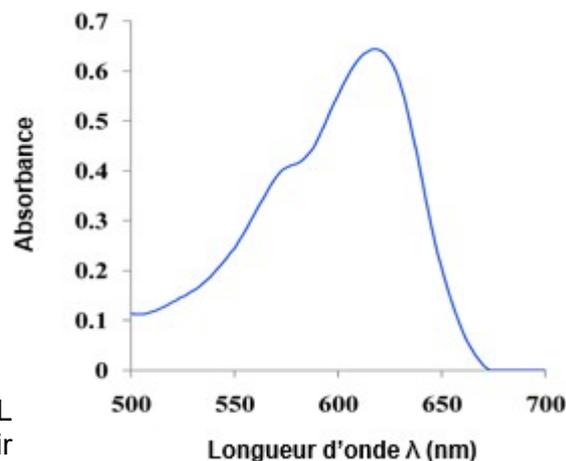


Figure 1. Spectre d'absorption de la phycocyanine

1. Décrire un protocole de dilution permettant d'obtenir 100 mL de la solution S_2 de concentration $C_2 = 5,00 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ à partir de la solution S_0 .
2. Indiquer une valeur de la longueur d'onde adaptée pour mesurer l'absorbance de la solution à l'aide du spectrophotomètre.

Pour valider la méthode de dosage mise en œuvre, on dispose d'une solution aqueuse étalon de phycocyanine, notée SE, de concentration en masse connue $C_E = 15,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. On cherche donc à savoir dans un premier temps si cette méthode permet de retrouver cette valeur.

Le tableau ci-dessous récapitule les résultats obtenus

Solution	S1	S2	S3	S4	S5	SE
Concentration en phycocyanine en $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	2,00	5,00	8,00	10,0	20,0	
Absorbance A	0,050	0,20	0,30	0,37	0,72	0,54

Le nuage de points de l'absorbance pour différentes concentrations en masse de phycocyanine des solutions est donné ci-dessous (figure 2).

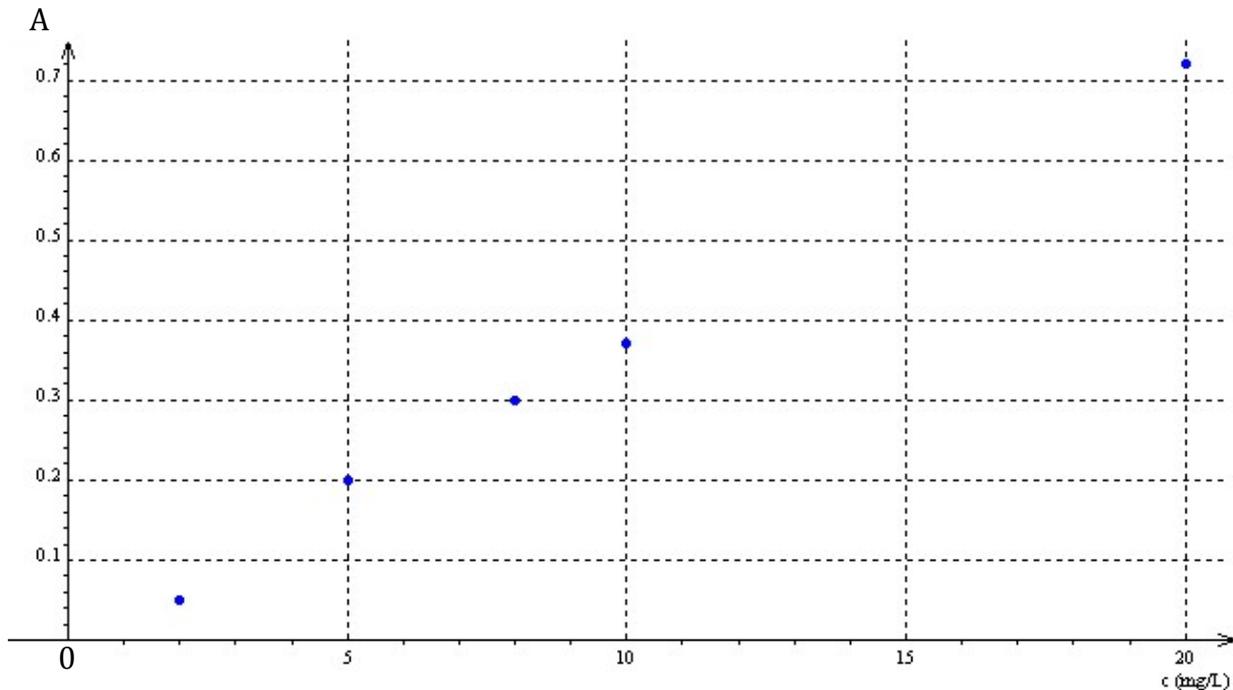


Figure 2. Absorbance en fonction de la concentration en phycocyanine

- Rappeler la loi de Beer-Lambert. Discuter l'accord des mesures obtenues avec cette loi.
- En précisant la méthode utilisée, déterminer la concentration en masse C_E de la solution SE.

Le même mode opératoire est répété 10 fois. Les résultats obtenus sont réunis ci-dessous.

C_E (en $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	14,2	14,7	15,2	15,9	14,7	14,1	14,9	14,4	15,1	14,6
---	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

La valeur de l'écart type de cette série de mesures est $\sigma = 0,53 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

L'incertitude-type (X) d'une grandeur X associée à la moyenne de N mesures est donnée par :

$$u(X) = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$$

- Calculer la valeur moyenne $\overline{C_E}$ et l'incertitude-type (C_E) liées à cette série de mesures.

Ecrire le résultat de cette mesure avec son incertitude-type en conservant trois chiffres significatifs sur la valeur de C_E .

- Conclure quant à la validité de la méthode de dosage.

Partie B – Contrôle de la qualité de la spiruline

On utilise cette méthode de dosage pour vérifier la teneur en phycocyanine de la spiruline déshydratée fabriquée par l'entreprise.

La solution de spiruline à doser, notée S, est réalisée en dissolvant 5,0 mg de spiruline déshydratée dans 50,0 mL d'eau déminéralisée. L'absorbance de cette solution, mesurée dans les mêmes conditions expérimentales que précédemment, est $AS = 0,44$.

7. Déterminer la concentration en masse en phycocyanine de la solution de spiruline S.
8. Calculer la teneur en phycocyanine, exprimée en g pour 100 g, de spiruline déshydratée.
Conclure sur la qualité de la spiruline déshydratée.

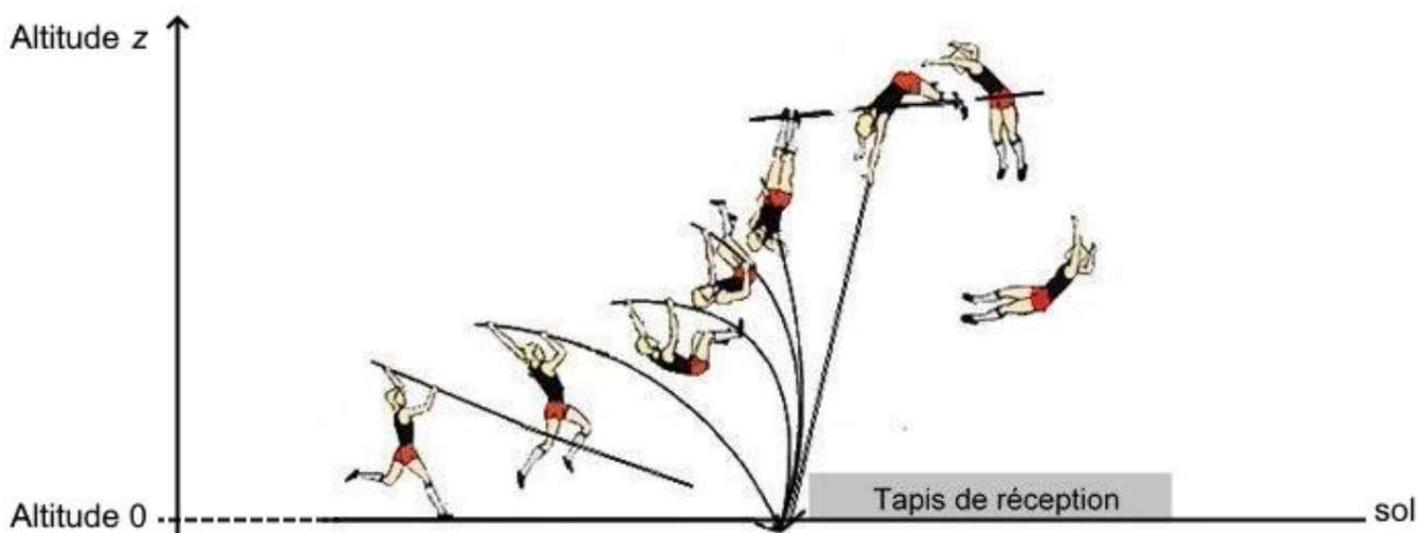
EXERCICE 3 : L'ÉPAISSEUR DU MATELAS DU SAUT A LA PERCHE (6 POINTS)

Mots-clés : mouvement dans un champ de pesanteur uniforme, aspects énergétiques, langage de programmation Python

Armand Duplantis est un athlète américano-suédois. Depuis février 2020, il détient le record du monde de saut à la perche en ayant franchi une barre à 6,18 m.

Le principe du saut à la perche repose sur la conversion de l'énergie cinétique, issue de la course d'élan du perchiste, en énergie potentielle de pesanteur.

L'athlète plante la perche en bas du sautoir et la plie. L'énergie cinétique issue de la course est alors transformée en énergie élastique et emmagasinée par la perche. Lorsque celle-ci se détend, elle restitue cette énergie élastique à l'athlète. On passe ainsi d'un mouvement horizontal, la course, à un mouvement vertical, le saut. Aujourd'hui, les perches en fibre de carbone restituent de manière quasiment intégrale l'énergie emmagasinée.



Différentes phases lors du saut à la perche

Différentes phases lors du saut à la perche

Dans cet exercice, il s'agit d'étudier les transferts d'énergie lors de la phase d'ascension, de déterminer la vitesse d'impact de l'athlète sur le tapis et de vérifier que l'épaisseur du matelas de réception évite que l'athlète ne se blesse.

Dans tout l'exercice, on assimile l'athlète à son centre de masse et on note z l'altitude par rapport au sol.

Données :

- masse de l'athlète : $m = 79,0 \text{ kg}$;
- intensité de la pesanteur terrestre : $g = 9,81 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$.

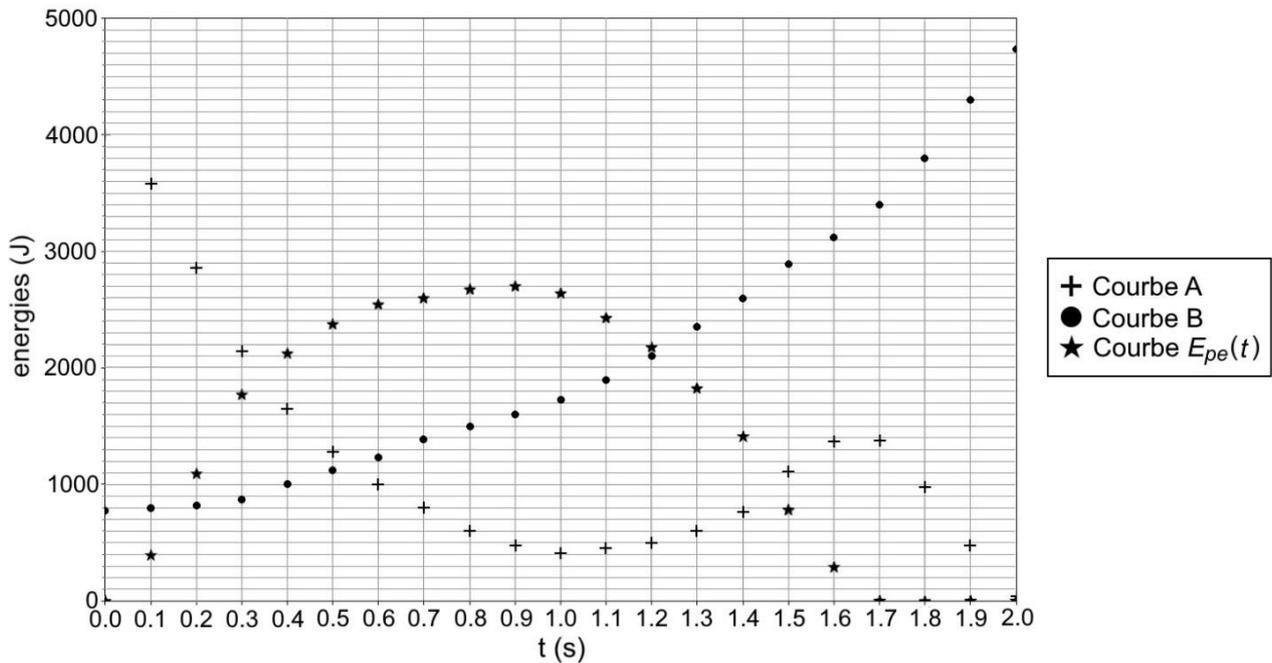
A. Étude de la phase ascendante

Le mouvement complet d'Armand Duplantis, lors de son record du monde, est filmé puis étudié à l'aide d'un logiciel de pointage. Les données de la partie ascendante du mouvement sont traitées à l'aide d'un programme écrit en langage python qui permet de représenter l'évolution au cours du temps des énergies cinétique E_c , potentielle de pesanteur E_{pp} , potentielle élastique E_{pe} et mécanique E_m du système défini par l'ensemble {sportif + perche}. Un extrait de ce programme est donné ci-dessous :

```
1 from math import *
2 import numpy as np
3 import matplotlib.pyplot as plt
4
5 # Nombre de points de mesure
6 Np=21
7
8 # Valeurs des constantes
9 m=79.0 # en kilogramme
10 g=9.81 # en newton par kilogramme
11
12 # tableaux de valeurs contenant les valeurs de temps t en seconde,
13 # de hauteur z en mètre et de vitesse v du centre de gravité en mètre par seconde
14 t=np.array([0,0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,0.6,0.7,0.8,0.9,1,1.1,1.2,1.3,1.4,1.5,1.6,1.7,1.8,1.9,2])
15 z=np.array([1,1.032,1.058,1.118, liste incomplète])
16 v=np.array([10.063,9.522,8.512,7.365,6.463,5.695,5.032,4.5,3.897,3.464,3.212, liste incomplète])
17
18 # initialisation des énergies
19 Em=np.zeros(21)
20 Ec=np.zeros(21)
21 Epp=np.zeros(21)
22 Epe=np.zeros(21)
23
24 # calculs des valeurs des différentes énergies en fonction du temps
25 for i in range(0,Np) :
26     Em[i]=4775.0
27     Ec[i]= ..... # A compléter
28     Epp[i]=..... # A compléter
```

Extrait du programme écrit en langage python

Pour la partie ascendante du mouvement de l'athlète, on obtient les courbes suivantes :

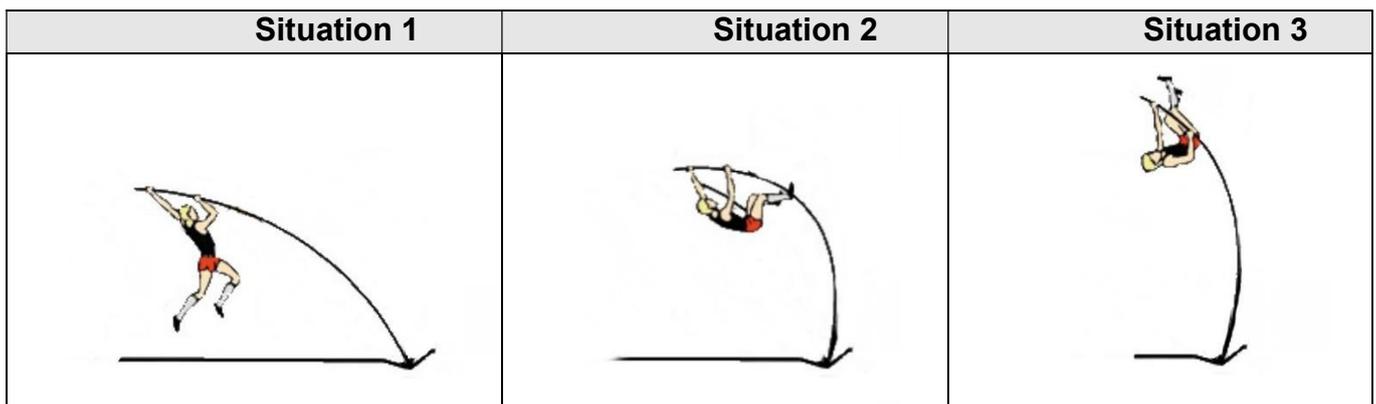


Courbes obtenues à l'aide du programme écrit en langage python

1. Identifier parmi les courbes A et B, celle représentant l'énergie cinétique et celle représentant l'énergie potentielle de pesanteur. Justifier les choix.
2. Recopier et compléter le code des lignes 27 et 28 du programme.
3. Extraire du programme la valeur de la vitesse initiale d'Armand Duplantis.

L'énergie potentielle élastique augmente avec la déformation de la perche.

4. Identifier, parmi les trois situations ci-dessous, celle qui correspond à $t = 0,9$ s. Justifier.



Le sauteur à la perche dans différentes situations

Armand Duplantis franchit la barre grâce à une technique d'enroulement. Ainsi, son centre de masse se situe en un point A légèrement au-dessous de la barre au moment du franchissement.

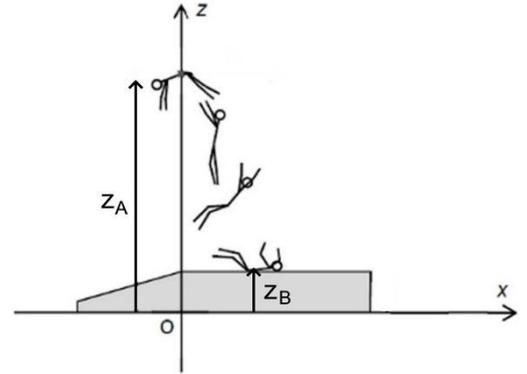
5. En exploitant le graphique précédent, déterminer la valeur de l'altitude maximale z_A , par rapport au sol, atteinte par le centre de masse de l'athlète.

B. La vitesse d'impact sur le tapis de réception

Au moment du franchissement de la barre, le centre de masse de l'athlète se situe à l'altitude z_A et sa vitesse est considérée comme nulle.

On note z_B l'altitude du centre de masse de l'athlète au moment de son impact avec le tapis. On négligera l'action de l'air.

- Justifier qu'après le franchissement de la barre, l'athlète est en chute libre.
- En utilisant la loi de conservation de l'énergie mécanique, déterminer l'expression de la vitesse d'impact de l'athlète sur le tapis en fonction de g , z_A et z_B .
- On donne $z_A - z_B = 5,31$ m. Calculer la valeur de la vitesse d'impact de l'athlète.



C. Épaisseur du matelas

On considère le repère (Oxz) représenté sur le schéma précédent.

Au moment où l'athlète arrive sur le matelas, son centre de masse est animé d'une vitesse \vec{v}_0 dont la composante verticale est $v_{0z} = -10,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

On considère que la composante horizontale de la vitesse est nulle : $v_{0x} = 0$.

On modélise l'action du matelas sur l'athlète par une force constante \vec{F}_T verticale vers le haut.

Pour ne pas provoquer de blessures lors de la phase de réception, le matelas se déforme pour quela valeur de l'accélération subie par le corps de l'athlète ne dépasse pas 10 fois l'accélération de lapesanteur, soit $10 \times g$.

On se place dans le cas où l'accélération est maximale : $a_z = 10 \times g$.

- Après avoir fait un bilan des forces s'exerçant sur Armand Duplantis lors de la réception et en utilisant la seconde loi de Newton, démontrer que la valeur F_T de la force exercée par letapis est égale à 8,52 kN.
- En prenant l'instant du contact entre l'athlète et le tapis comme origine des temps et en se plaçant dans le repère (Oxz) , montrer que les équations horaires du mouvement de l'athlète s'écrivent :

$$v_z(t) = 10 \times g \times t + v_{0z}$$

$$z(t) = 5 \times g \times t^2 + v_{0z} \times t + z_B$$

- Déterminer la durée de la phase de réception.
- Le tapis de réception a une épaisseur de 82 cm.

Montrer que cette épaisseur est suffisante pour que l'athlète ne soit pas blessé par le sol.

EXERCICE 4 : SYNTHÈSE D'UN ESTER A ODEUR FLORALE (6 POINTS)

Le benzoate de méthyle de formule $C_6H_5COOCH_3$ est utilisé en parfumerie, il possède en effet une odeur agréable de goyave.

L'objectif de cet exercice est de déterminer le rendement de la synthèse en laboratoire du benzoate de méthyle par extraction de l'ester obtenu et par titrage de l'acide benzoïque restant.

Étude de la réaction de synthèse du benzoate de méthyle.

L'ester est synthétisé à partir d'acide benzoïque et de méthanol. L'équation de la réaction modélisant cette transformation chimique est donnée ci-dessous.

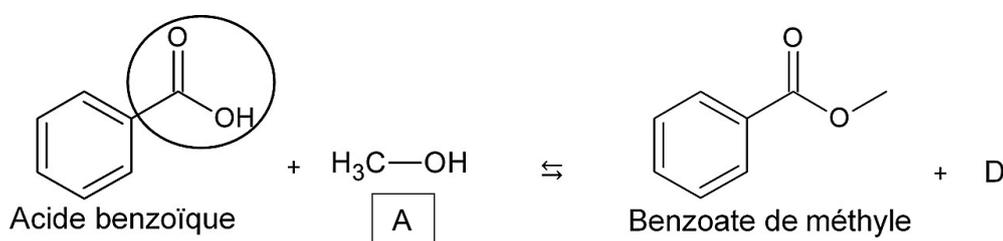


Figure 1. Équation de la réaction modélisant la transformation chimique

1. Nommer le groupe caractéristique entouré sur la molécule d'acide benzoïque. A quelle famille appartient l'acide benzoïque ?
2. Recopier la formule du second réactif de la réaction de synthèse. Quel type de représentation s'agit-il ? Entourer le groupe caractéristique. Nommer le groupe caractéristique. A quelle famille appartient cette molécule ? Quel est le nom du réactif A ?
3. Identifier la molécule D.

Étude du mode opératoire.

Les étapes du protocole de synthèse de l'ester sont les suivantes :

Étape 1. Dans un ballon, introduire 12,2 g d'acide benzoïque, 4,0 mL de réactif A, 3 gouttes d'acide sulfurique concentré et quelques grains de pierre ponce. Chauffer à reflux sous la hotte pendant 1 heure sous ébullition douce.

Étape 2. Après refroidissement, verser le contenu du ballon dans une ampoule à décanter contenant environ 50 mL d'une solution saturée de chlorure de sodium (eau salée saturée).

Agiter en dégazant régulièrement et séparer la phase aqueuse de la phase organique.

Étape 3. Ajouter alors à la phase organique 50 mL d'une solution aqueuse d'hydrogencarbonate de sodium ($Na^+(aq) + HCO_3^-(aq)$). Dégazer puis séparer les deux phases après décantation.

Étape 4. Sécher la phase organique avec du chlorure de magnésium anhydre puis filtrer en recueillant le filtrat dans un erlenmeyer propre et sec.

4. Identifier, parmi les montages représentés figure 2, celui correspondant à l'étape 1 du protocole de synthèse.

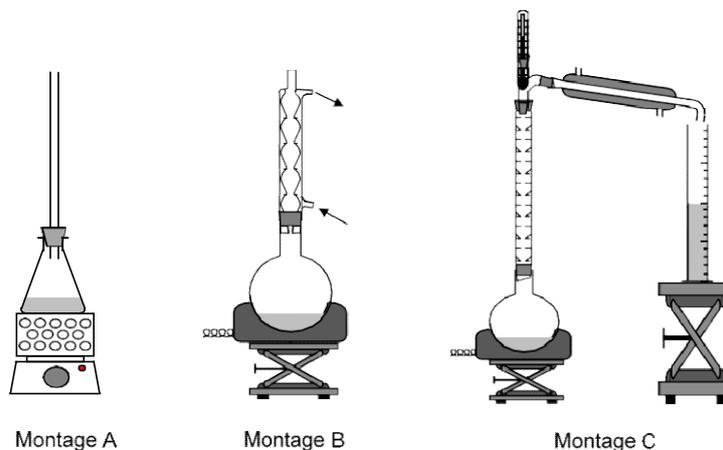


Figure 2. Montages de synthèse

5. Donner un des intérêts du chauffage à reflux.

Données :

Espèces chimiques	Acide benzoïque	A	Benzoate de méthyle	Eau salée saturée
Formule brute	$C_7H_6O_2$	CH_4O	$C_8H_8O_2$	
Masse volumique ($g \cdot mL^{-1}$)		0,79	1,1	1,2
Solubilité dans l'eau	Très faible	Très grande	Très faible	
Solubilité dans l'eau salée	Très faible	Très grande	insoluble	
Pictogrammes de sécurité	Corrosif : 	Inflammable : 		
	CMR*: 	Toxique : 		
		CMR*: 		

CMR * : cancérogène, mutagène et neurotoxique

6. En étudiant les pictogrammes de sécurité des réactifs, justifier les précautions opératoires prises et citer les précautions d'usage.

Identification de la molécule obtenue par spectroscopie infrarouge.

Après l'étape 4 du protocole de synthèse, le spectre infrarouge en phase liquide de la molécule synthétisée a été réalisé.

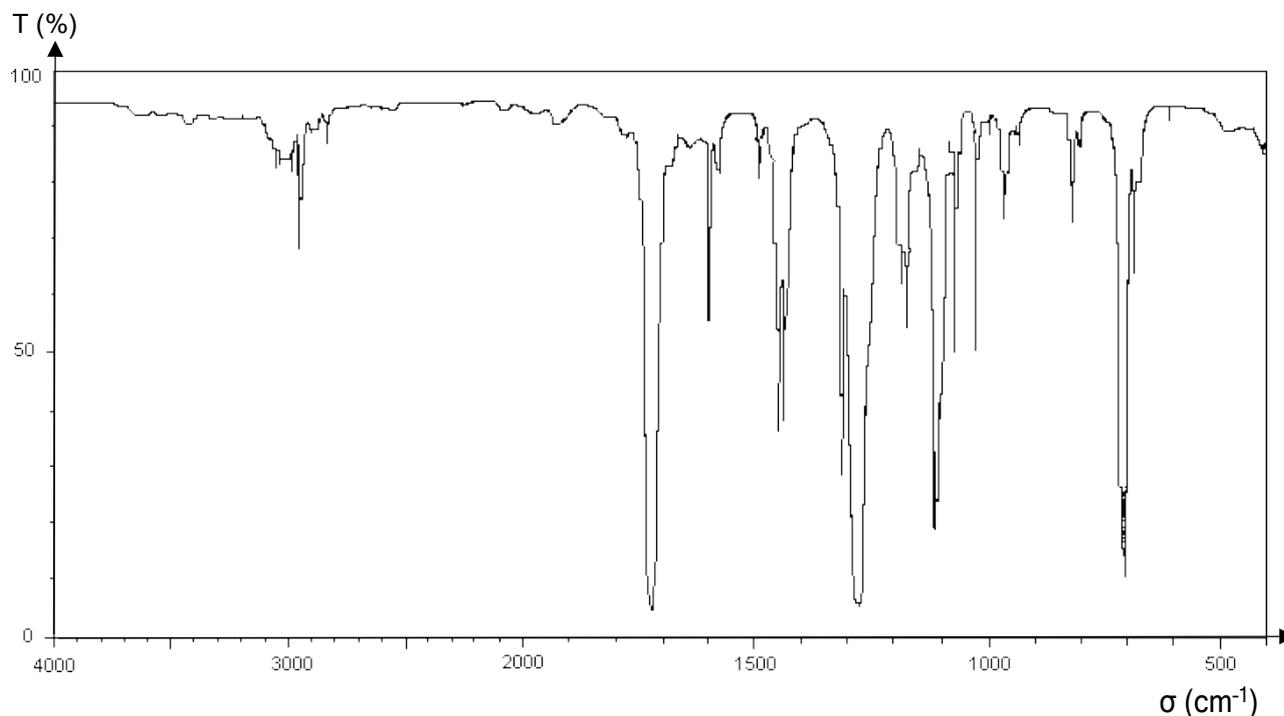


Figure 3. Spectre infrarouge de la molécule synthétisée

Données :

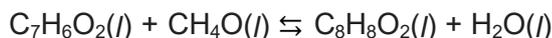
➤ Tableau de données de spectroscopie infrarouge (IR)

Liaison	Nombre d'onde (cm ⁻¹)	Largeur de la bande	Intensité d'absorption
O-H liée	3200 - 3400	large	forte
O-H acide carboxylique	2500 - 3200	large	forte à moyenne
C-H	2800 - 3000	fine (bandes multiples)	faible
C=O	1650 - 1740	fine	forte
C-O	1000 - 1300	fine	forte

7. En utilisant les données, montrer que le spectre de la figure 3 peut correspondre à la formule chimique du benzoate de méthyle.

Rendement de la synthèse.

L'équation de la réaction modélisant la transformation chimique de synthèse du benzoate de méthyle est la suivante :



Données :

Espèces chimiques	Acide benzoïque	Méthanol	Benzoate de méthyle	Eau salée saturée
Formule brute	$\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_2$	CH_4O	$\text{C}_8\text{H}_8\text{O}_2$	
Masse molaire ($\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$)	122	32,0	136	

- À l'aide des données présentes dans l'étape 1 du protocole de synthèse et celles ci-dessus, déterminer les quantités de matière des réactifs $n_{i,alcool}$ et $n_{i,acide}$ mis en présence.
- En déduire que ces réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques.
- La masse expérimentale m_{exp} obtenue de benzoate de méthyle est égale à 9,11 g.

Recopier sur votre copie et compléter le tableau d'avancement ci-dessous :

Équation de la réaction		$\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_2(l) + \text{CH}_4\text{O}(l) \rightleftharpoons \text{C}_8\text{H}_8\text{O}_2(l) + \text{H}_2\text{O}(l)$			
État	Avancement (en mol)	Quantités de matière (en mol)			
État initial	$x = 0$	$n_{i,acide}$	$n_{i,alcool}$	0	0
État intermédiaire	x				
État final	x_f				

- Déterminer les valeurs des quantités de matière de l'ensemble des espèces présentes à l'état final notées $n_{acide,eq}$, $n_{alcool,eq}$, $n_{eau,eq}$ et $n_{ester,eq}$ correspondant à l'équilibre chimique.
- Montrer que le rendement r de la synthèse s'approche de 67%.

