

BAC BLANC 2023

Épreuve de spécialité : Physique-chimie

Durée de l'épreuve : 3 h 30

Coefficient : 16

Précisions particulières propres au sujet/épreuve

Le sujet, dans son intégralité, doit être remis avec la copie.

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.

Exercice 1 : Le vin et ses composants (10 points)

Un vin est une solution aqueuse qui contient en proportions diverses : des alcools (éthanol, glycérol...), des acides carboxyliques (acide citrique, acide tartrique, acide malique...), des esters (dont l'éthanoate d'éthyle), du dioxyde de soufre, des tanins, des sucres, des ions fer (II) Fe^{2+} et fer (III) Fe^{3+} , etc. Ces différents composants contribuent à la saveur du vin.

Dans cet exercice, on s'intéresse à deux de ces composants :

- le fer, susceptible de causer la « casse » d'un vin blanc (**partie A**) ;
- un ester, l'éthanoate d'éthyle, qui contribue à l'arôme du vin (**partie B**).

Partie A - Dosage spectrophotométrique des ions fer dans un vin

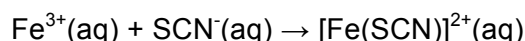
Un vin blanc contient du fer sous forme d'ions fer (II), $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$, et fer (III), $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$. Ce fer provient en faibles proportions du raisin. Pour la majeure partie, il provient du matériel utilisé lors de la vinification.

Si la teneur en fer dépasse $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, on peut craindre la formation d'un précipité blanc dans le vin à l'origine d'un trouble appelé casse blanche pour le vin blanc.

L'objectif de cette partie A est de déterminer le risque de casse blanche d'un vin blanc.

Pour cela, on procède à un dosage spectrophotométrique des ions fer après les avoir fait réagir avec des ions thiocyanate pour former une espèce colorée en solution. En pratique, on procède ainsi :

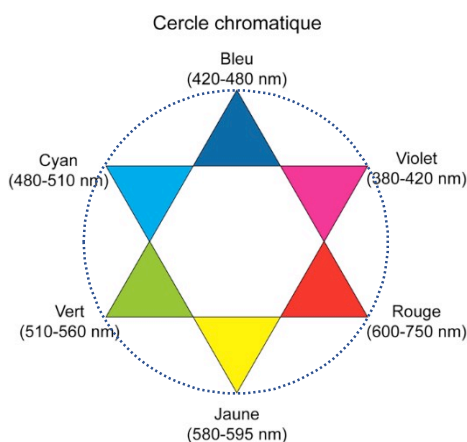
- On oxyde la totalité des ions fer (II) en ions fer (III) par ajout d'eau oxygénée en milieu acide.
- On ajoute une solution de thiocyanate de potassium pour faire réagir les ions fer (III) avec les ions thiocyanate et former des ions thiocyanatofer(III) $[\text{Fe}(\text{SCN})]^{2+}(\text{aq})$, selon l'équation de réaction :



- On obtient une solution aqueuse dont la couleur rouge est due aux ions $[\text{Fe}(\text{SCN})]^{2+}(\text{aq})$.
- On procède à un dosage par spectrophotométrie après avoir réalisé un étalonnage. On détermine ainsi la concentration en masse en ion fer (III) correspondant à la concentration totale en masse des ions fer (II) et (III).

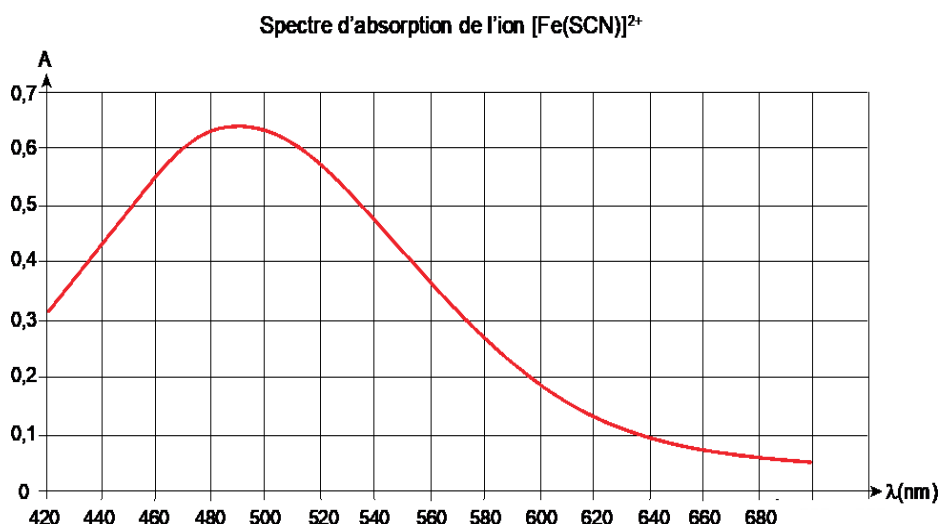
Données :

- ✓ Cercle chromatique. Dans cette présentation, les couleurs complémentaires sont placées en vis-à-vis sur un même diamètre.



Réglage du spectrophotomètre

On donne ci-dessous le spectre d'absorption de l'ion $[\text{Fe}(\text{SCN})]^{2+}$ en phase aqueuse.



1. Indiquer la couleur correspondant aux radiations les plus absorbées par l'ion $[\text{Fe}(\text{SCN})]^{2+}$ et justifier ainsi la couleur de la solution.
2. Proposer une longueur d'onde à utiliser pour réaliser le dosage.

Préparation des solutions étalons

Pour préparer les solutions étalons, on met en œuvre le protocole suivant :

- Préparer 5 solutions étalons d'ions fer (III) numérotées de 1 à 5 par dilution d'une solution mère S_0 d'ions fer (III) de concentration en masse en ions fer (III) égale à $t_0 = 100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

Numéro de solution étalon	1	2	3	4	5
$t(\text{Fe}^{3+})$ en $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0

- Verser 10,0 mL de chaque solution dans un bécher.
- Ajouter 1,0 mL d'acide chlorhydrique concentré et 1,0 mL de solution de thiocyanate de potassium de concentration molaire égale à $1,0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Les ions thiocyanate sont alors en excès dans chacune des solutions.

3. Préciser pourquoi il est nécessaire que les ions thiocyanate soient apportés en excès dans chaque solution.
4. Déterminer le volume V_0 de solution mère S_0 à prélever pour préparer $V_2 = 50,0 \text{ mL}$ de la solution étalon n° 2.

Mesures et analyse

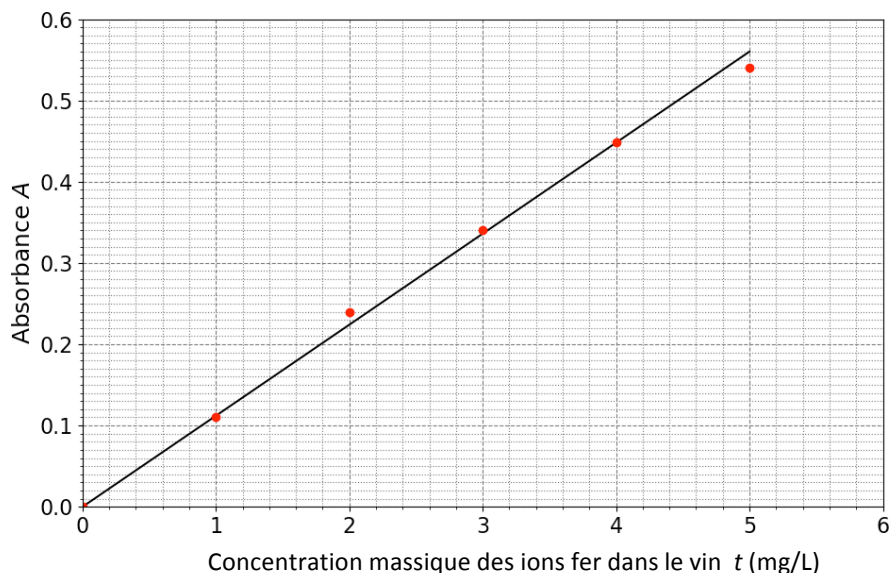
Pour déterminer la teneur en fer du vin blanc étudié, on prépare une solution de vin, notée S_v , en mélangeant :

- 10,0 mL de vin blanc,
- 1,0 mL d'acide chlorhydrique concentré et 1,0 mL de solution de thiocyanate de potassium de concentration molaire égale à $1,0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,
- 4 gouttes d'eau oxygénée à 20 volumes (sans incidence sur le volume).

Par la suite :

- On mesure l'absorbance des 5 solutions étalons.
- On trace une courbe d'étalonnage.
- On mesure l'absorbance A_V de la solution de vin S_V .

On a placé les points des mesures dans un graphique donnant l'absorbance en fonction de la concentration. La droite a été ajoutée pour mettre en évidence une tendance dans la répartition des points de mesure.



5. Préciser la forme de la relation entre l'absorbance A et la concentration massique t ainsi mise en évidence. Donner le nom de la loi correspondante.

Pour la solution de vin, on trouve : $A_V = 0,16$.

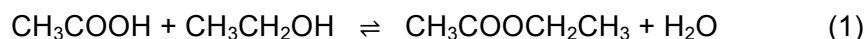
6. Déterminer si le vin étudié présente un risque de casse blanche. Justifier.

Partie B - Synthèse d'un ester du vin en laboratoire

Les esters sont des molécules organiques qui participent à la richesse de l'arôme d'un vin. La synthèse de ces esters lors du processus biologique de vinification est lente et peut durer plusieurs mois.

Dans cette partie, on s'intéresse à cette durée de plusieurs mois mentionnée comme nécessaire à la production des esters en cherchant à la relier aux conditions expérimentales. Pour cela, on étudie la formation de l'un de ces esters au cours du temps, l'éthanoate d'éthyle de formule $\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3$, suivant un protocole en laboratoire.

L'équation de la réaction de synthèse de l'éthanoate d'éthyle est :



Données :

- Zone de virage du bleu de thymol : (pH = 8,0 ; pH = 9,6).
- Masses volumiques et masses molaires de quelques espèces chimiques.

	Masse volumique à 25 °C (g·mL ⁻¹)	Masse molaire (g·mol ⁻¹)
Acide éthanoïque	1,05	60,0
Éthanol	0,789	46,0
Éthanoate d'éthyle	0,902	88,0
Eau	1,00	18,0

Pour réaliser l'étude cinétique de cette synthèse, on met en œuvre le protocole suivant.

- Mélanger 115 mL d'acide éthanoïque pur et 117 mL d'éthanol pur. Conserver le mélange dans un bain eau-glace.
- Introduire 2,0 mL du mélange réactionnel dans 7 tubes numérotés de 0 à 6. Les conserver dans un bain eau-glace.
- Préparer une burette graduée contenant une solution d'hydroxyde de sodium (Na⁺(aq) + HO⁻(aq)) de concentration $C_B = 1,0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.
- À la date $t = 0$:
 - Immerger les tubes 1 à 6 dans un bain marie d'eau bouillante.
 - Placer le tube 0 à température ambiante.
- Aux dates $t_1 = 2 \text{ min}$, $t_2 = 7 \text{ min}$, $t_3 = 12 \text{ min}$, $t_4 = 20 \text{ min}$, $t_5 = 35 \text{ min}$ et $t_6 = 50 \text{ min}$:
 - Retirer du bain-marie le tube « i » correspondant à la date « t_i » et le plonger immédiatement dans un bain eau-glace.
 - Titrer l'acide éthanoïque du milieu réactionnel du tube « i » par une solution d'hydroxyde de sodium.

7. Expliquer pourquoi le mélange réactionnel est placé dans un bain d'eau glacée avant l'instant $t = 0$ et avant titrage.

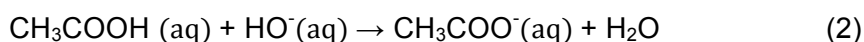
8. Montrer que le mélange réactionnel préparé est équimolaire.

9. Vérifier que la quantité d'acide contenu dans chaque tube à la date $t = 0$ est :

$$n_0 = 17,3 \text{ mmol}$$

Après avoir refroidi un tube pour stopper la réaction de synthèse de l'ester, on procède au titrage de l'acide éthanoïque restant dans le tube à l'aide d'une solution d'hydroxyde de sodium de concentration C_B , en présence de bleu de thymol. Pour le tube « i », le volume de la solution titrante versée à l'équivalence est noté $V_{B,i}$.

La réaction support du titrage a pour équation :



10. Expliquer le rôle du bleu de thymol.

11. Définir l'équivalence pour la réaction support de titrage (2).

12. En déduire que la quantité d'acide restant $n_{ac,i}$ à la date t_i dans un tube « i » est donnée par :

$$n_{ac,i} = C_B V_{B,i}$$

On note n_i la quantité d'éthanoate d'éthyle produite dans le tube « i ». On cherche à relier cette quantité n_i à la quantité d'acide restante $n_{ac,i}$.

13. Etablir le tableau d'avancement de la transformation chimique modélisée par la réaction (1) faisant apparaître l'état initial (avancement $x = 0$) et l'état final (avancement x_f) en **ANNEXE PAGE 14/14 À RENDRE AVEC LA COPIE.**

14. Montrer que la quantité n_i d'éthanoate d'éthyle présente dans un tube « i » à la date t_i est donnée par la relation :

$$n_i = n_0 - C_B V_{B,i}$$

Le tableau ci-dessous regroupe les résultats expérimentaux.

Tube i	1	2	3	4	5	6
$V_{B,i}$ (mL)	15,3	11,3	9,3	7,3	6,3	6,3
Quantité de matière d'ester n_i (mol)	$2,0 \times 10^{-3}$		$8,0 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-2}$	$1,1 \times 10^{-2}$	$1,1 \times 10^{-2}$

15. Donner la valeur de la quantité de matière n_2 manquante dans le tableau.

Le graphique représentant la quantité de matière n_i d'ester formé en fonction du temps est disponible en **ANNEXE PAGE 14/14 À RENDRE AVEC LA COPIE.**

16. Indiquer qualitativement comment évolue la vitesse volumique d'apparition de l'ester au cours du temps.

17. Déterminer la valeur de la vitesse volumique d'apparition de l'ester à la date $t = 20$ min.

18. Définir le temps de demi-réaction $t_{1/2}$ et le déterminer par une construction graphique sur la courbe **EN ANNEXE PAGE 14/14 À RENDRE AVEC LA COPIE.**

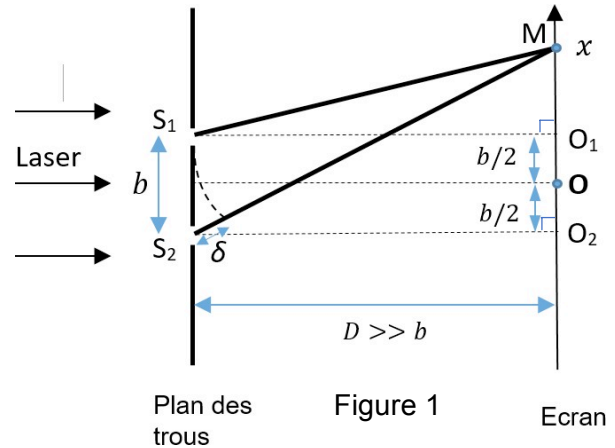
19. Comparer ce temps de demi-réaction à l'échelle de temps évoquée en introduction pour la production des esters dans le vin. Proposer une explication à l'écart en raisonnant sur les paramètres pouvant avoir une incidence sur la valeur de $t_{1/2}$.

Exercice 2 : L'expérience des trous d'Young (5 points)

Dans cet exercice, on utilise la figure d'interférences obtenues dans l'expérience des trous d'Young pour déterminer une valeur de longueur d'onde lumineuse du laser utilisé.

La figure 1 ci-dessous décrit le trajet des ondes lumineuses issues des deux trous d'Young. Chaque trou se comporte comme une source ponctuelle d'ondes lumineuses.

- S_1 et S_2 les trous d'Young
- b est la distance entre les deux trous d'Young
- D est la distance entre le plan de deux trous d'Young et l'écran
- M est le point de l'écran où l'on observe les interférences
- La distance D est très supérieure à la distance b ($D \gg b$).



On note S_1M la distance qui sépare S_1 de M et S_2M la distance qui sépare S_2 de M .

Données :

- La différence de chemin optique, ou différence de marche, δ des deux ondes au point M de coordonnée x s'exprime sous la forme :

$$\delta = n_{\text{milieu}} \cdot (S_2M - S_1M)$$

avec n_{milieu} l'indice de réfraction du milieu traversé.

- La valeur de la vitesse de la lumière dans l'air v_{air} est égale à $c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.
- L'indice de réfraction d'un milieu est par définition

$$n_{\text{milieu}} = \frac{c}{v_{\text{milieu}}}$$

avec v_{milieu} la vitesse de propagation de la lumière dans le milieu étudié.

Relation entre l'interfrange et la longueur d'onde

1. Justifier que la différence de marche δ peut être assimilée à $(S_2M - S_1M)$ dans le cas où le milieu traversé par les ondes lumineuses est l'air.
2. En appliquant le théorème de Pythagore dans les triangles S_1O_1M et S_2O_2M de la figure 1, donner les expressions de $(S_1M)^2$ et $(S_2M)^2$ en fonction de D , x et $\frac{b}{2}$.

La distance D entre les trous d'Young et l'écran étant très supérieure à b , on peut montrer que $(S_2M)^2 - (S_1M)^2 = 2 D \delta$

3. En s'appuyant sur les résultats de la question précédente, en déduire que la différence de marche s'écrit :

$$\delta = \frac{x \cdot b}{D}$$

La figure 2 ci-après représente la figure d'interférences obtenue avec deux trous d'Young.

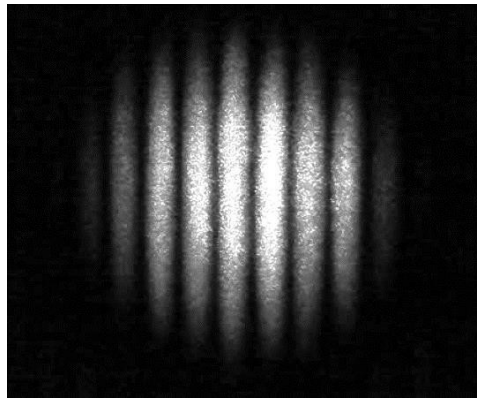


Figure 2 : Figure d'interférences de l'expérience de Young

Source : f-legrand.fr

Données :

- Les interférences de deux ondes de même longueur d'onde λ et synchrones en un point sont :
 - constructives en tout point où $\delta = k \cdot \lambda$ (avec k un entier relatif),
 - destructives en tout point où $\delta = (k + \frac{1}{2}) \cdot \lambda$ (avec k un entier relatif).
- La distance entre les trous d'Young est $b = 2,0 \cdot 10^{-4} \pm 0,1 \cdot 10^{-4}$ m ;
- La distance D entre le plan des trous et l'écran a pour valeur $D = 119,0 \pm 0,5$ cm.

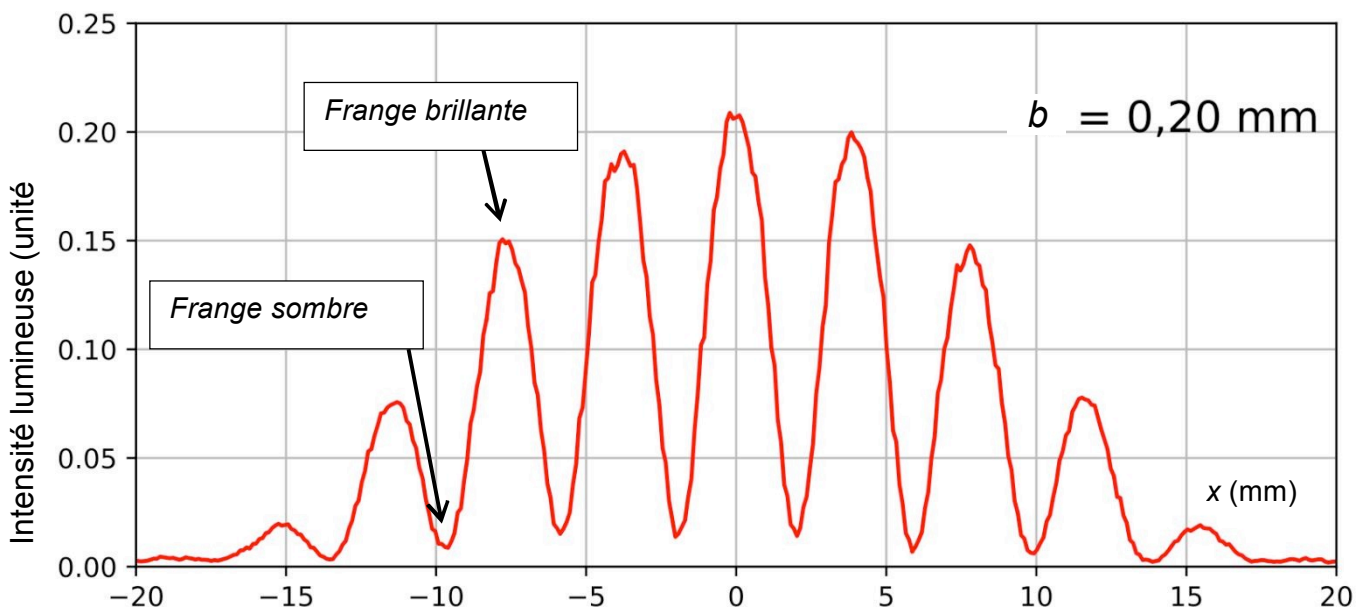


Figure 3 : Courbe représentant les variations d'intensité lumineuse pour la figure d'interférences de l'expérience de Young

Source : f-legrand.fr

4. À l'aide des données et en admettant que $\delta = \frac{x \cdot b}{D}$, montrer que $x = \frac{k \cdot \lambda \cdot D}{b}$ pour un point M situé au maximum d'intensité d'une frange brillante.

L'interfrange, notée i , est par définition la distance entre deux franges de même nature consécutives.

5. Établir l'expression de l'interfrange i en fonction de λ , b et D .
6. À l'aide de la figure 3, déterminer précisément la valeur de l'interfrange i .
7. En déduire la valeur de la longueur d'onde de la lumière utilisée dans cette expérience.

Identification du laser utilisé

Plusieurs lasers ont pu être utilisés dans cette expérience :

Laser	bleu	vert	Rouge A	Rouge B	Rouge C
Longueur d'onde	473 nm	532 nm	632 nm	650 nm	694 nm

On admet que l'incertitude-type sur la longueur d'onde λ , notée $u(\lambda)$, est donnée par la relation :

$$u(\lambda) = \lambda \times \sqrt{\left(\frac{u(b)}{b}\right)^2 + \left(\frac{u(i)}{i}\right)^2 + \left(\frac{u(D)}{D}\right)^2}$$

$u(\lambda)$, $u(b)$, $u(i)$ et $u(D)$ sont les incertitudes-types associées respectivement aux valeurs de λ , b , i et D .

On considère que l'incertitude sur i est $u(i) = 0,1$ mm.

8. Parmi les lasers cités, identifier le (ou les) laser(s) qui ont pu être utilisé(s) pour réaliser l'expérience.

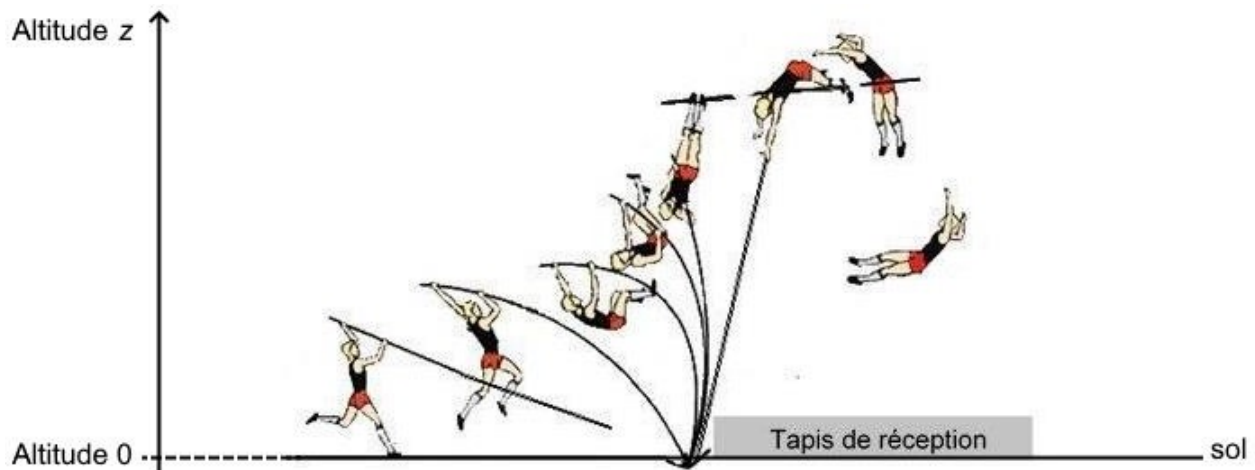
Le candidat est invité à prendre des initiatives, à justifier ses choix et à présenter sa démarche.

Exercice 3 : L'épaisseur du matelas du saut à la perche (5 points)

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

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-après :

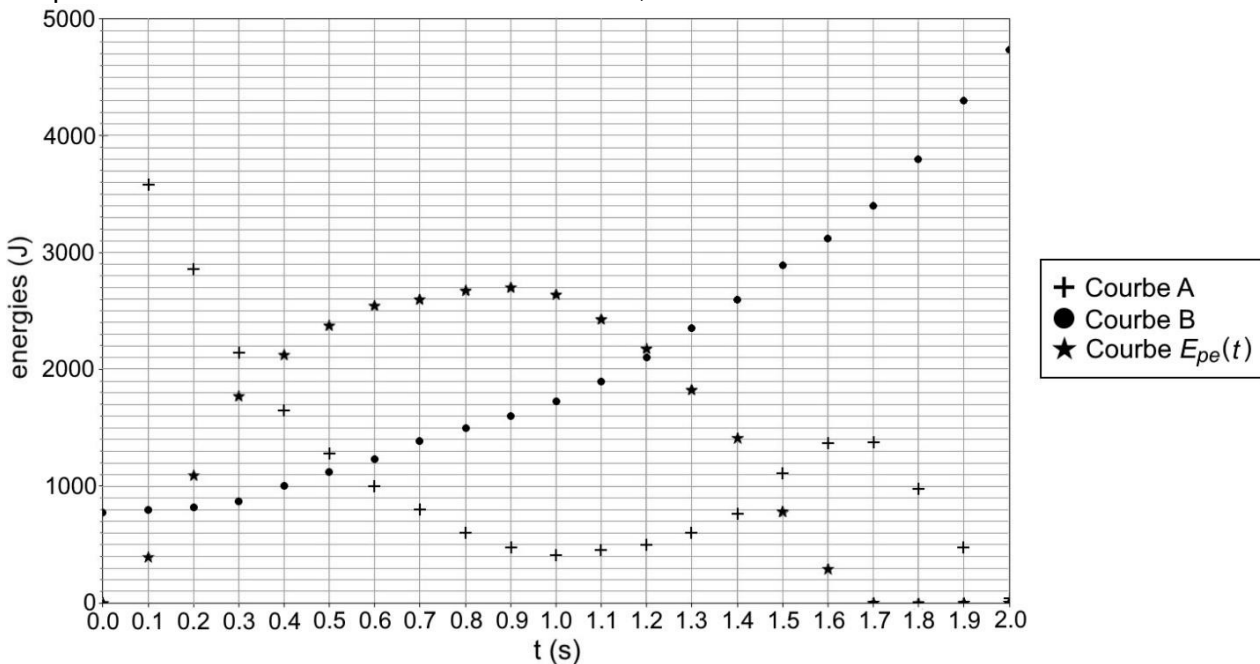
```

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 :

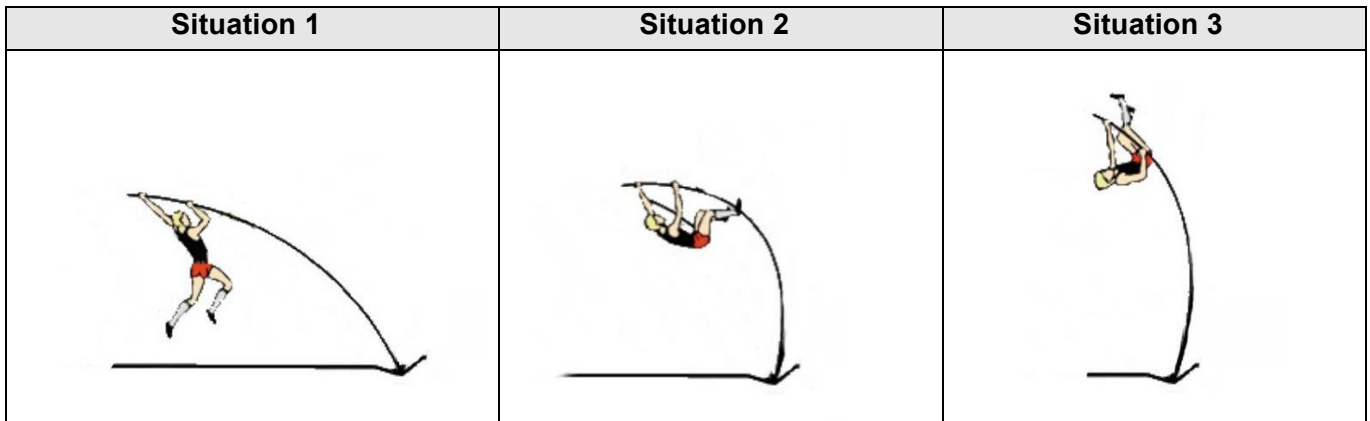


Courbes obtenues à l'aide du programme écrit en langage python

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

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

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



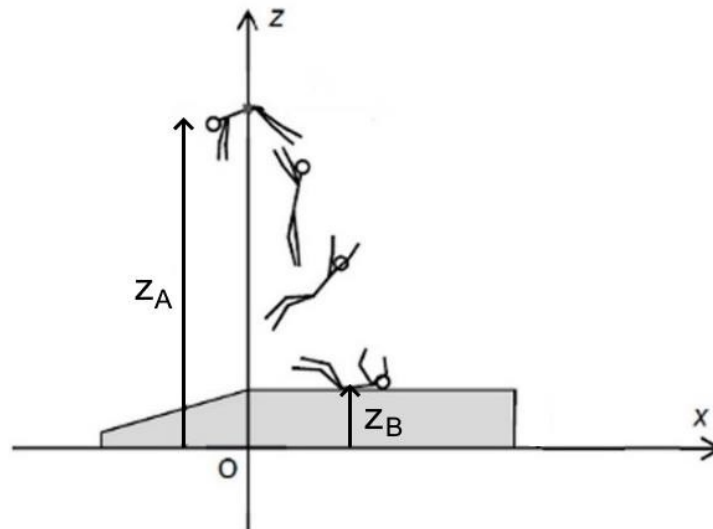
Le sauteur à la perche dans différentes situations

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.

A.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.

B.1. Justifier qu'après le franchissement de la barre, l'athlète est en chute libre.

B.2. En utilisant le théorème de l'énergie cinétique ou 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.

B.3. 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 que la valeur de l'accélération subie par le corps de l'athlète ne dépasse pas 10 fois l'accélération de la pesanteur, soit $10 \times g$.

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

- C.1.** 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 :

$$\begin{aligned}v_z(t) &= 10 \times g \times t + v_{0z} \\z(t) &= 5 \times g \times t^2 + v_{0z} \times t + z_B\end{aligned}$$

- C.2.** Déterminer la durée de la phase de réception.

Le tapis de réception a une épaisseur de 82 cm.

- C.3.** Montrer que cette épaisseur est suffisante pour que l'athlète ne soit pas blessé par le sol.

- C.4.** 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 le tapis est égale à 8,52 kN.

ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

Exercice 1

Q13

$x = 0$				
$x = x_f$				

Q18

