

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2019

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

Durée de l'épreuve : 3 heures 30
Coefficient : 8

L'usage de tout modèle de calculatrice, avec ou sans mode examen, est autorisé.

Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré.

Le sujet comporte trois exercices présentés sur 11 pages numérotées de 1 à 11.

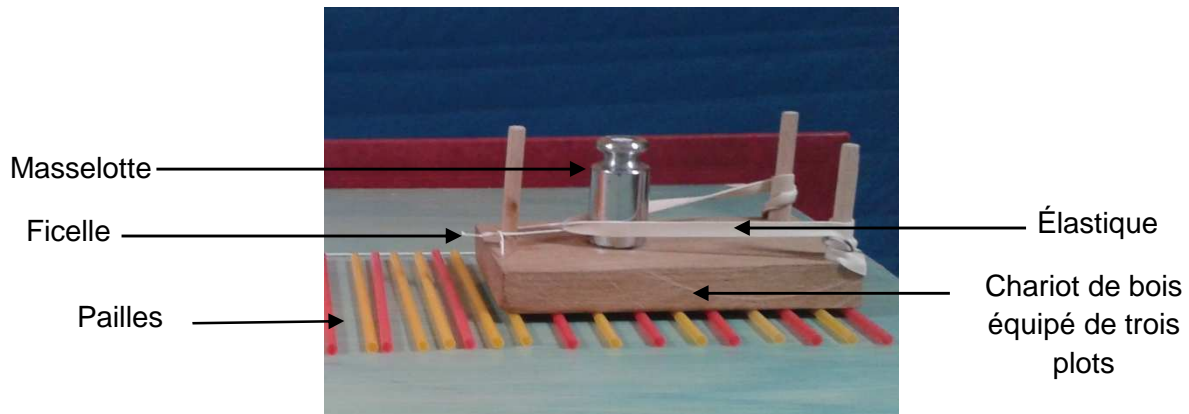
Le candidat doit traiter les trois exercices qui sont indépendants les uns des autres.

EXERCICE 1 : NEWTON CAR (11 points)

Le « Newton Car » challenge, impulsé par la NASA, est un défi scientifique qui peut être proposé aux élèves de lycée.

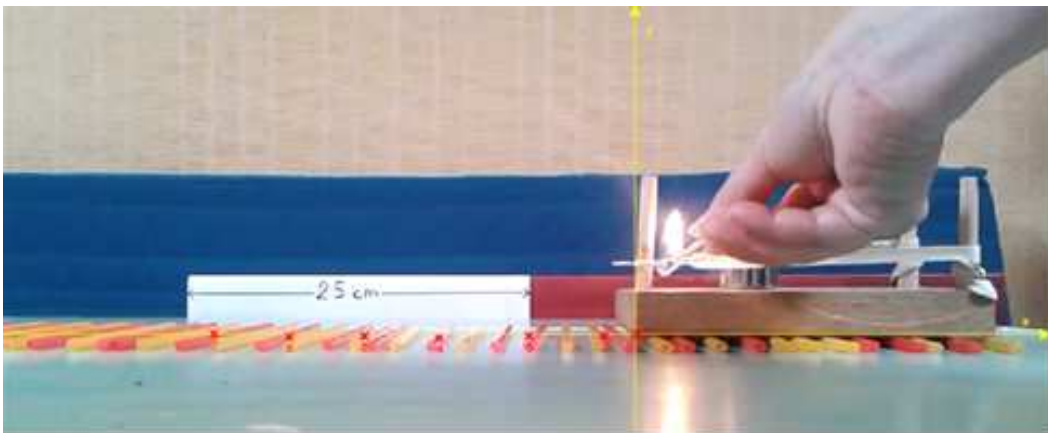
Une « Newton Car » est composée d'un chariot de bois équipé de trois plots permettant de maintenir un élastique étiré à l'aide d'une ficelle. Le chariot est positionné sur une série de pailles en plastique. Une masselotte est placée au niveau de la courbure de l'élastique. L'éjection de la masselotte met en mouvement le chariot.

Photographie de la « Newton Car »



L'objectif étant de parcourir la plus grande distance, c'est-à-dire d'avoir la plus grande vitesse au démarrage, les élèves sont amenés à mesurer cette grandeur par différentes méthodes.

À la date $t = 0$ s, le système est immobile. On brûle la ficelle comme photographiée ci-dessous :



On observe alors le déplacement du chariot et de la masselotte dans la même direction mais en sens opposé.

Pour étudier le mouvement de la « Newton Car », on considère le système S constitué de l'ensemble {chariot + ficelle + élastique + masselotte}.

On note \vec{v}_{C0} la vitesse du chariot et \vec{v}_{m0} la vitesse de la masselotte juste après la rupture de la ficelle.

Les mouvements sont étudiés dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

Données :

- intensité du champ de pesanteur : $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$;
 - masse du chariot $M = 200 \text{ g}$;
 - on note m la masse de la masselotte ;
 - évaluation d'une incertitude par une approche statistique :
- valeur moyenne \bar{X} associée à n mesures indépendantes X_i d'une grandeur X :

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} ;$$

- écart type expérimental noté σ_{n-1} :

$$\sigma_{n-1} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} ;$$

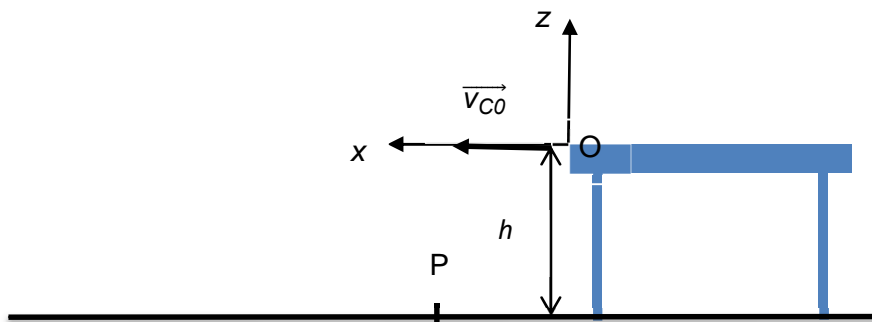
- incertitude élargie pour un niveau de confiance de 95 % : $U(X) = 2 \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}}$.

1. Principe de propulsion de la « Newton Car »

- 1.1. Après avoir brûlé la ficelle, faire l'inventaire des forces modélisant les actions extérieures qui agissent sur le système S.
- 1.2. À quelle condition le système S peut-il être considéré comme pseudo-isolé ? Si on suppose le système pseudo-isolé, montrer que la quantité de mouvement du système S est nulle.
- 1.3. Déterminer la relation donnant la vitesse \vec{v}_{C0} du chariot en fonction de la vitesse \vec{v}_{m0} de la masselotte, de la masse M du chariot et de la masse m de la masselotte. Prévoir le sens du mouvement du chariot. On néglige les masses de la ficelle et de l'élastique.

2. Détermination de la vitesse du chariot par l'étude d'un mouvement de chute

On installe la « Newton Car » au bord d'une table de hauteur $h = 75,0 \text{ cm}$. Lorsque la ficelle est brûlée, le chariot est propulsé avec une vitesse initiale \vec{v}_{C0} horizontale. On étudie le mouvement de la « Newton Car », assimilée à un point matériel, dans le repère (xOz) donné ci-dessous et on note P le point d'impact au sol.



L'expérience est répétée 10 fois afin d'augmenter la précision de la mesure. On mesure à chaque fois au sol l'abscisse x_P du point de chute du chariot.

Les mesures sont consignées dans le tableau ci-dessous :

x_P (en cm)	65	66	61	62	61	63	59	65	60	63
---------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

- 2.1. Faire l'inventaire des forces modélisant les actions qui s'exercent sur le chariot lors de la chute (on néglige l'action de l'air).
- 2.2. Donner le résultat de la mesure de x_p accompagné d'une évaluation de son incertitude élargie pour un niveau de confiance de 95 %.

2.3. Montrer que les équations horaires du mouvement du chariot s'écrivent :

$$x(t) = v_{CO}.t \quad \text{et} \quad z(t) = -\frac{1}{2}.g.t^2$$

2.4. En déduire la valeur de la vitesse initiale v_{CO} en explicitant votre démarche.

3. Détermination de la vitesse du chariot en utilisant l'effet Doppler

On fixe un petit buzzer alimenté par une pile à l'avant du chariot après avoir raboté une partie du chariot pour que la masse du système ne change pas.

Document : dispositif avec buzzer



On réalise la même expérience que dans la partie 1.

3.1 Étude du son du buzzer quand la « Newton Car » est immobile.

On enregistre le son émis par le buzzer lorsque le dispositif est immobile. L'enregistrement du signal sonore obtenu est représenté sur la figure 1 et son analyse spectrale sur la figure 2.

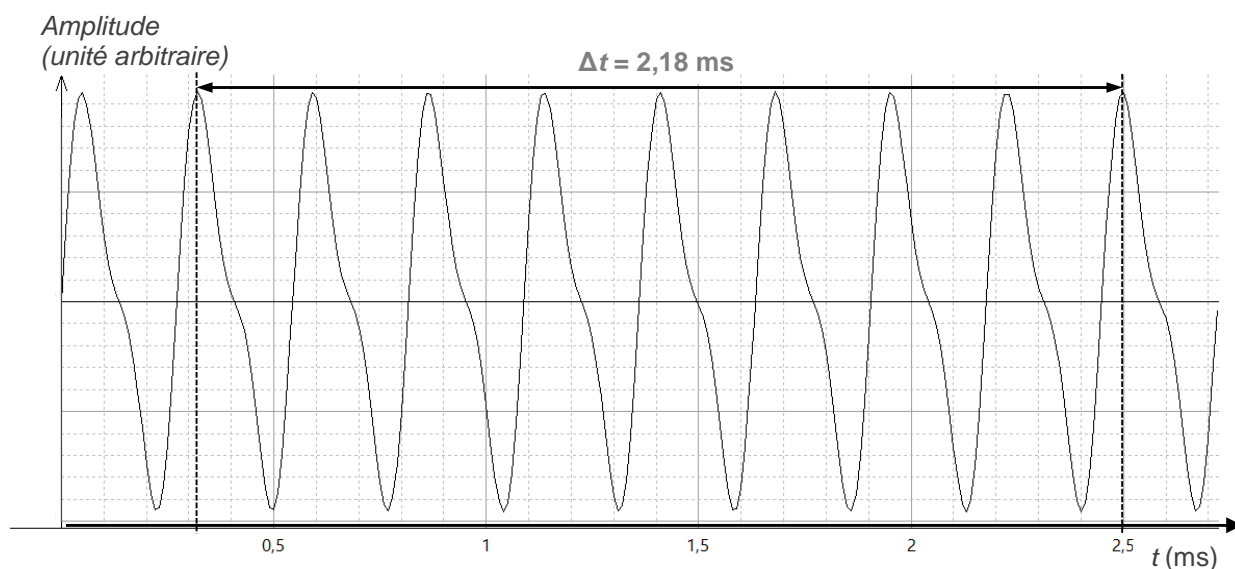


Figure 1 : enregistrement du signal sonore émis par le buzzer.

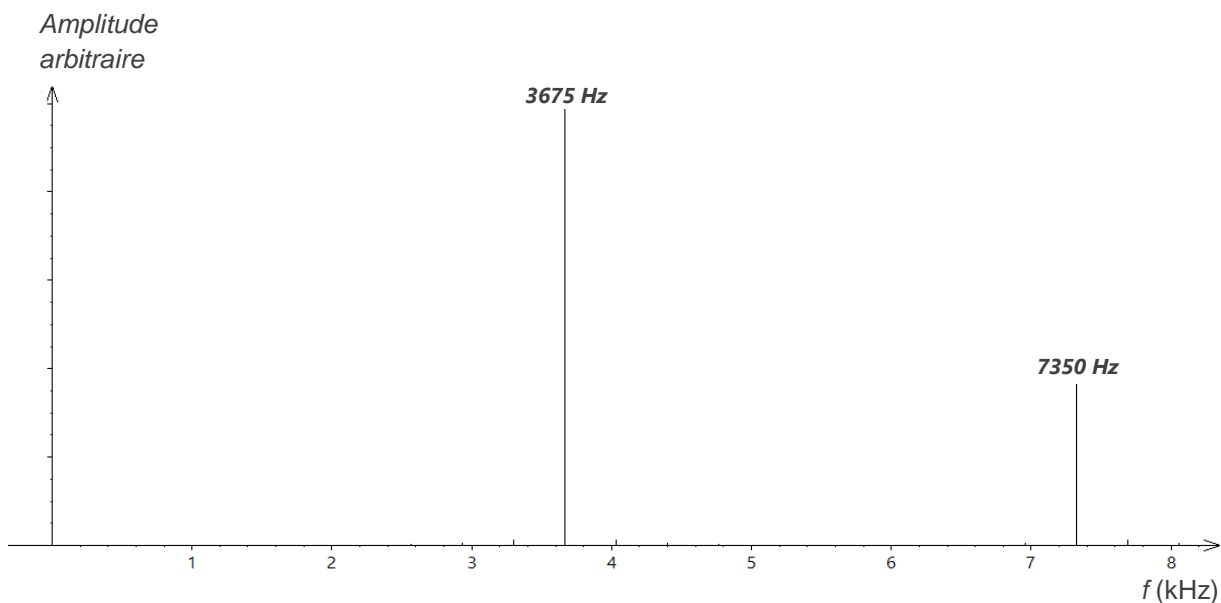


Figure 2 : spectre du signal sonore émis par le buzzer.

- 3.1.1. Comment appelle-t-on chacun des pics qui apparaît sur le spectre du signal ? Justifier.
- 3.1.2. Le son du buzzer est-il pur ou complexe ? Justifier.
- 3.1.3. À partir de l'enregistrement du signal (figure 1), déterminer la fréquence f_E du son émis par le buzzer. Cette fréquence est-elle en accord avec le spectre du signal sonore émis (figure 2) ?

3.2 Étude du son du buzzer quand la « Newton Car » est en mouvement.

On installe sur un support un microphone relié à un ordinateur pour permettre de faire l'acquisition du son du buzzer lorsque le chariot passe devant le microphone.

L'enregistrement est donné sur la figure 3.

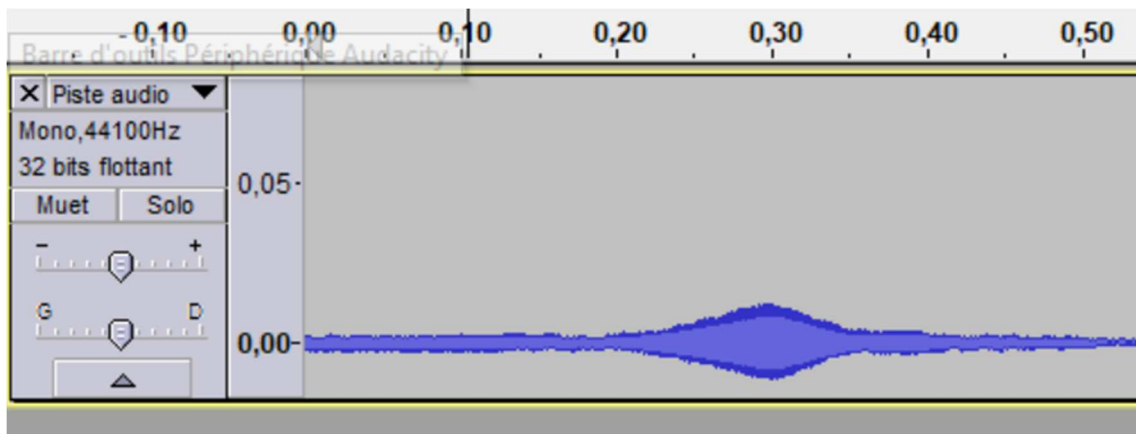


Figure 3

On sélectionne une première portion de signal correspondant à l'approche du chariot. L'analyse spectrale indique une fréquence $f'_R = 3690$ Hz.

On sélectionne une deuxième portion de signal correspondant à l'éloignement du chariot. L'analyse spectrale indique une fréquence $f_R = 3658$ Hz.

Données :

- Si le récepteur s'approche de l'émetteur, la fréquence perçue est : $f'_R = f_E \cdot \left(\frac{v_{son}}{v_{son} - v_c} \right)$;
- Si le récepteur s'éloigne de l'émetteur, la fréquence perçue est : $f_R = f_E \cdot \left(\frac{v_{son}}{v_{son} + v_c} \right)$;
- f_E est la fréquence de l'onde émise par l'émetteur ;
- v_c est la vitesse du chariot par rapport au récepteur ;
- v_{son} est la vitesse de propagation du son dans l'air. Elle est donnée par la relation :
$$v_{son}(\theta^\circ\text{C}) = v_{son}(0^\circ\text{C}) \times \sqrt{1 + \frac{\theta}{273}}$$
 avec $v_{son}(0^\circ\text{C}) = 331 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ et θ la température en $^\circ\text{C}$.

3.2.1. Expliquer en quelques lignes en quoi consiste l'effet Doppler.

3.2.2. L'expérience se déroule à $25,0^\circ\text{C}$. Quelle est alors la valeur de la propagation du son dans l'air ?

3.2.3. Estimer la valeur de la vitesse du chariot en explicitant votre démarche.

4. Optimisation de la « Newton Car »

Lors de l'expérience conduite dans la partie 1, le chariot s'arrête lorsqu'il a parcouru une distance $d = 246 \text{ cm}$. On suppose que la vitesse initiale du chariot est égale à $1,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Pour simplifier on modélise la situation en introduisant une force de frottement de valeur constante.

- 4.1 Sachant que la variation de l'énergie mécanique d'un solide est égale au travail des forces non conservatives, déterminer, dans le cadre de ce modèle, la valeur de la force de frottement.
- 4.2 Au vu de l'ensemble de l'étude réalisée, quels paramètres peut-on modifier pour gagner le « Newton Car » challenge ?

EXERCICE 2 : GÉLULE DE GUARANA (4 points)



Le guarana est une liane originaire de la forêt amazonienne qui grimpe sur les arbres et produit des graines riches en caféine, théobromine, xantine, théophylline, oligo-éléments et vitamines.

Le guarana, utilisé dès l'époque précolombienne, est recommandé pour favoriser la concentration mentale, la mémoire et la vigilance.

Il est commercialisé sous différentes formes : graines, gélules, poudres, infusettes, comprimés, ...

L'Agence européenne pour la sécurité des aliments (EFSA) a publié, le 27 mai 2015, une recommandation de dose journalière au-delà de laquelle la caféine peut présenter un risque pour la santé. Pour les adolescents, la dose journalière de caféine est fixée à 3 mg par kilogramme de masse corporelle.

L'objectif de cet exercice est de déterminer le nombre de gélules de guarana qui pourrait être consommé quotidiennement, sans risque pour la santé.

Pour déterminer la quantité de caféine contenue dans une gélule, on réalise les expériences suivantes :

- préparation d'une solution aqueuse S_0 de caféine de concentration molaire $2,50 \text{ mmol.L}^{-1}$;
- préparation de six solutions aqueuses à partir de la solution S_0 ;
- mesure de l'absorbance de chacune des solutions filles après réglage du spectrophotomètre :

Solution fille	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6
Concentration molaire (mmol.L^{-1})	$2,50 \times 10^{-2}$	$5,00 \times 10^{-2}$	$7,50 \times 10^{-2}$	$1,00 \times 10^{-1}$	$1,25 \times 10^{-1}$	$1,50 \times 10^{-1}$
Absorbance	0,230	0,452	0,677	0,880	1,112	1,325

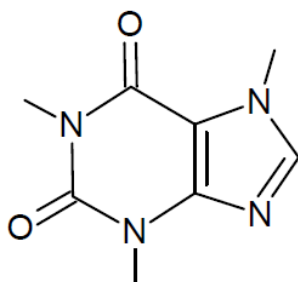
- dissolution d'une gélule de guarana dans 500 mL d'eau distillée. Le spectrophotomètre ne fournissant des mesures exploitables que pour des absorbances inférieures à 2, la solution obtenue, trop concentrée pour les mesures d'absorbance, à la même longueur d'onde, est diluée d'un facteur 10. L'absorbance de la solution diluée notée S est mesurée : $A = 0,524$.

Données : masses molaires atomiques

$M(\text{C}) = 12,0 \text{ g.mol}^{-1}$; $M(\text{H}) = 1,0 \text{ g.mol}^{-1}$; $M(\text{N}) = 14,0 \text{ g.mol}^{-1}$; $M(\text{O}) = 16,0 \text{ g.mol}^{-1}$.

1. La molécule de caféine

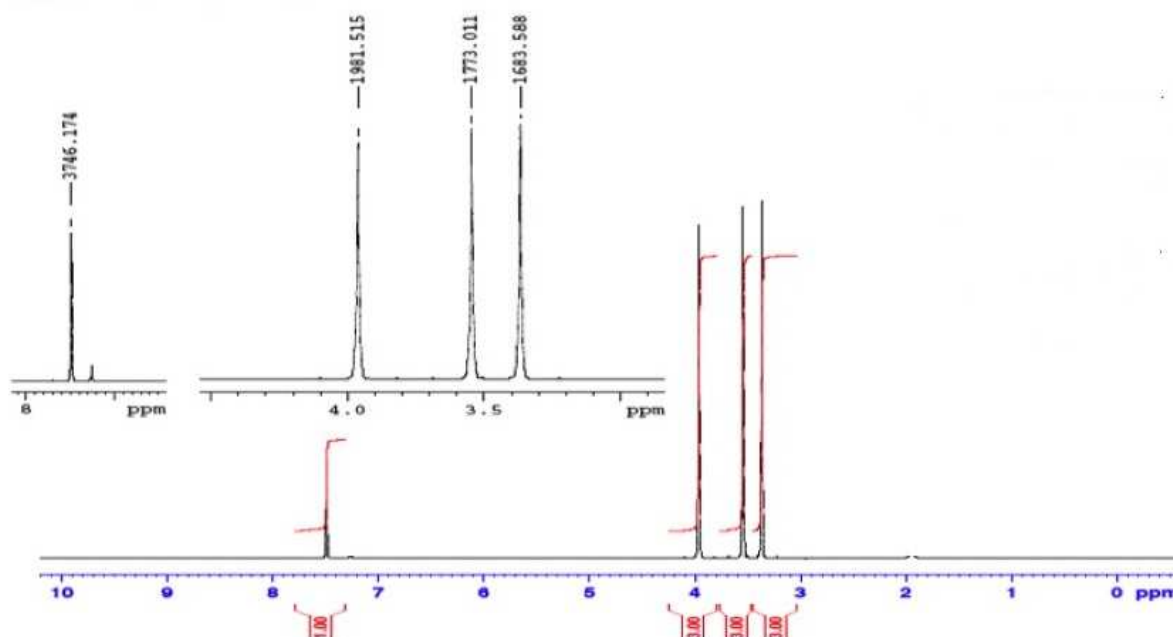
La formule topologique de la molécule de caféine est représentée ci-contre :



- 1.1. Représenter la formule semi-développée de la molécule de caféine.
- 1.2. Calculer sa masse molaire.
- 1.3. Combien de signaux doit-on observer sur le spectre RMN du proton de cette molécule ? Justifier.

1.4. Prévoir la multiplicité des différents signaux sur spectre RMN du proton de la caféine. Justifier.

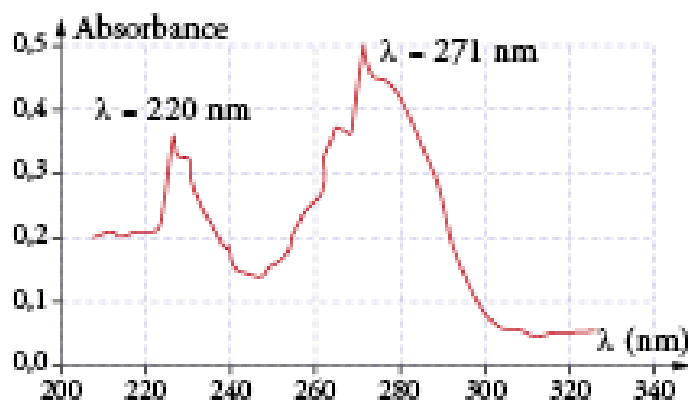
Le spectre RMN du proton de la caféine est donné ci-dessous :



1.5. Commenter les courbes d'intégration des signaux.

2. Nombre maximal de gélules de guarana ingérable par jour

Le spectre d'absorption de la caféine, pour une solution aqueuse de caféine, est donné ci-dessous :



Spectre d'absorption de la caféine

- 2.1. À quelle longueur d'onde doit-on régler le spectrophotomètre pour effectuer l'analyse quantitative de la caféine dans la gélule ? Peut-on utiliser un spectrophotomètre visible pour réaliser cette analyse ?
- 2.2. La molécule de caféine est-elle colorée ? Justifier.
- 2.3. Combien de gélules un adolescent de 60 kg peut-il ingérer sans aucun risque pour sa santé ?

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 3 : ALGUES ET ALIMENTATION (5 points)

Les algues brunes, que l'on trouve le long des côtes bretonnes, sont une source importante à la fois d'alginate employées dans la cuisine moléculaire comme épaississant et d'iode essentiel au fonctionnement du corps humain. En effet, l'iode est un élément intervenant dans la biosynthèse des hormones thyroïdiennes qui interviennent au niveau de la régulation de la température corporelle, du métabolisme de base, de la reproduction, de la croissance, de la production de cellules sanguines ainsi qu'au niveau du développement du système nerveux et du fonctionnement des muscles. La carence en iode peut entraîner de graves problèmes pour la santé. Cette carence est due à la pauvreté des sols en iode, d'où une faible concentration de cet élément dans les aliments et donc un apport insuffisant pour la population. Les algues sont les aliments qui contiennent le plus d'iode, et de très loin. De plus, l'iode provenant des algues est facilement bio-assimilable sous forme d'ion iodure I⁻, par notre organisme. Comme pour tout végétal photosynthétique, la composition des algues varie en fonction de la saison, ce qui justifie que la teneur en ions iodure donnée pour différents types d'algues le soit sous forme d'intervalle :



Teneur en ions iodure (en mg / kg d'algue sèche) :

Kombu royal (*Laminaria saccharina*) : 2789 - 5277 ;

Kombu breton (*Laminaria digitata*) : 2020 - 7454 ;

Fucus vesiculosus : 240 – 728.

Source : Centre d'Étude et de Valorisation des Algues

L'objectif de cet exercice est de déterminer le nombre de gélules de complément alimentaire ou la masse d'algues sèches que devrait consommer un adolescent pour assurer les besoins de son organisme en iode.

Document 1 : Besoins quotidiens en iode apportés sous forme d'ions iodure (I⁻) et en sélénium (Se)

Âge	Iode (I ⁻)		Sélénium (Se)	
	ANR* (µg/jour)	AMT** (µg/jour)	ANR* (µg/jour)	AMT** (µg/jour)
Enfant 1 à 3 ans	90	200	20	40-90
Enfant 4 à 8 ans	90	300	30	100-150
Enfant 9 à 13 ans	120	600	40	200-280
Adolescent 14-18 ans	150	900	55	400
Adulte	150	1100	55-70	400
Grossesse	220	- 18 ans : 900 + 18 ans : 1100	60	400
Allaitement	290	- 18 ans : 900 + 18 ans : 1100	70	400

*ANR : Apport nutritionnel recommandé

**AMT : apport maximal tolérable

D'après : Apports nutritionnels de référence, Institute of Medicine (IOM), National Academies Press, Washington D.C., 2006. Dietary Reference Intakes for Vitamin C, Vitamine E, Sélénium, and Carotenoids, 2000. Food and Nutrition Board, Institute of Medicine.

Document 2 : Gélules Iode Sélénium Fucus vendues en parapharmacie

Description : extrait concentré de Fucus riche en iode, élaboré à partir de thalles de fucus (*Fucus vesiculosus*), et levures au sélénium (*Saccharomyces cerevisiae*).

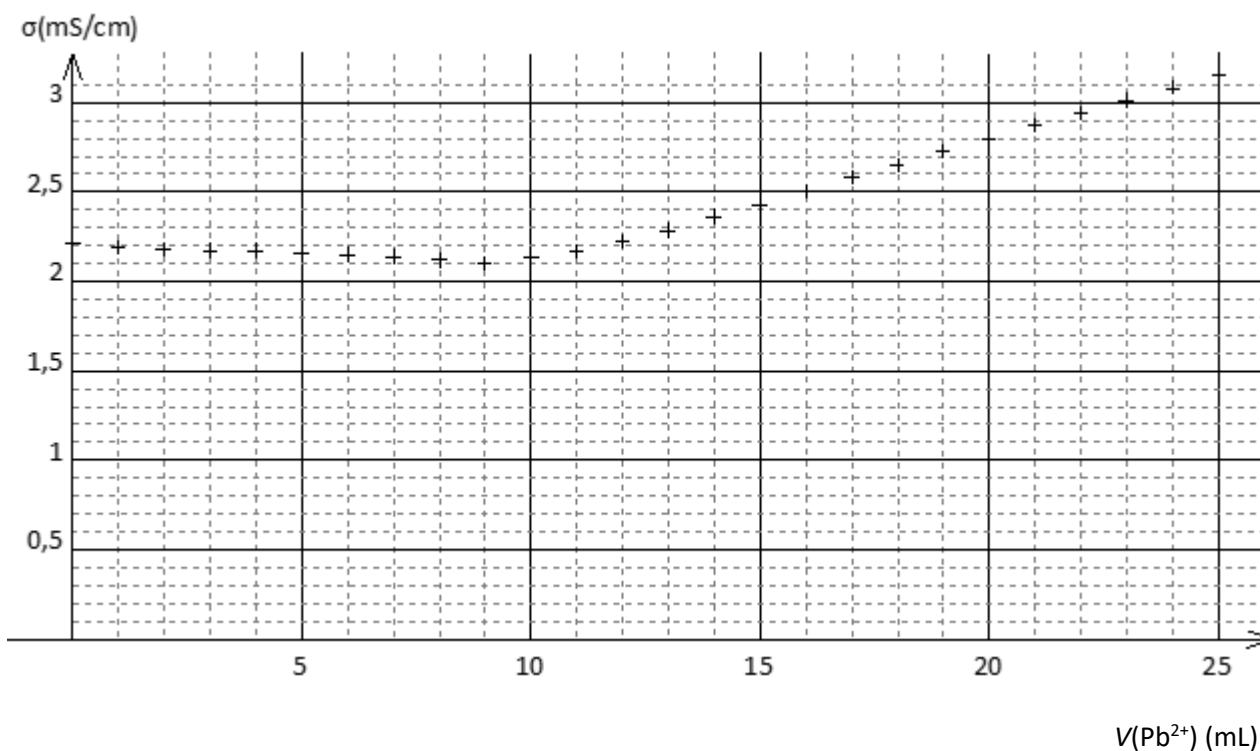
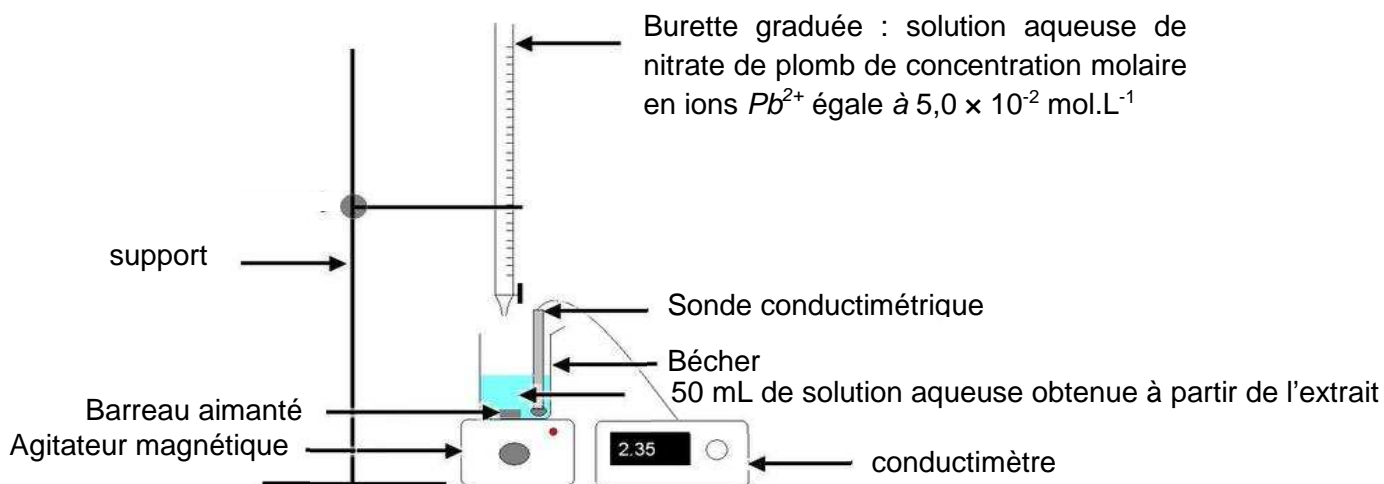


Composition d'une gélule :

- Fucus : 50 mg dont iode (I⁻) : 60 µg ; sélénium : 50 µg ;
- Excipients : gélatine marine, tunique de la gélule à base de polymères végétaux.

Document 3 : Détermination expérimentale de la teneur en iode d'une algue Kombu breton

Après une série d'étapes en laboratoire, on extrait, sous forme d'ions iodure I⁻, la totalité de l'iode contenue dans 50 g d'algues sèches Kombu breton. On réalise 100 mL d'une solution aqueuse à partir de cet extrait. On effectue le titrage de 50 mL de cette solution. Le dispositif et la courbe de titrage sont représentés ci-dessous.



Données :

- Lorsqu'on met en présence des ions plomb $\text{Pb}^{2+}_{(\text{aq})}$ et des ions iodure $\text{I}^{-}_{(\text{aq})}$, il se forme un précipité d'iodure de plomb $\text{PbI}_{2(\text{s})}$ de couleur jaune ;
- Du fait de la toxicité du plomb, les ions Pb^{2+} et le précipité PbI_2 ne doivent pas être jetés à l'évier mais dans un bidon de récupération ;
- Masses molaires atomiques : $M(\text{Pb}) = 207,2 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $M(\text{I}) = 126,9 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Questions préliminaires

1. Quel nombre de gélules Iode Sélénium Fucus doit prendre par jour un adolescent pour satisfaire aux besoins nutritionnels de son organisme ?
2. Écrire l'équation de la réaction support du titrage des ions iodure.

Problème

Quelle masse journalière d'algue Kombu breton séchée doit consommer un adolescent par jour pour satisfaire aux besoins nutritionnels de son organisme ?

Le candidat est invité à prendre des initiatives, à indiquer les hypothèses qu'il est amené à formuler et à présenter la démarche suivie même si elle n'a pas abouti.

La démarche suivie est évaluée et nécessite d'être correctement présentée.