

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2016

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

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

L'usage de la calculatrice est autorisé

Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré

Le sujet comporte trois exercices présentés sur 12 pages numérotées de 1/12 à 12/12, y compris celle-ci.

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

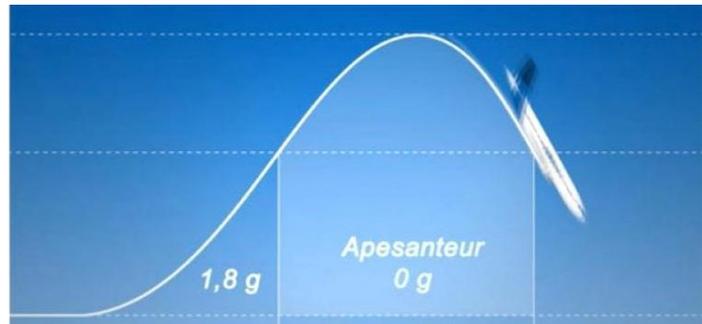
EXERCICE I - VOL ZÉRO-G (6 points)

Au printemps 2015, l'airbus A310 Zéro-G a réalisé ses premiers vols scientifiques. Exploité par une filiale du Centre National d'Études Spatiales (CNES), cet avion permet de simuler des conditions d'apesanteur en décrivant des trajectoires paraboliques. Les scientifiques peuvent ainsi mener des expériences sans avoir recours aux missions spatiales.

Document 1 : Trajectoire parabolique de l'A310 Zéro-G

Pour que les passagers et le matériel embarqués dans l'Airbus A310 Zéro-G soient en apesanteur dans le référentiel de l'avion, et qu'ils se mettent à y "flotter", il faut que l'avion soit en chute libre.

Dans le référentiel terrestre, un corps est en chute libre lorsque la seule force qui s'exerce sur lui est le poids. Comment mettre l'avion en condition de "chute libre", peut-on se demander. Rien de plus "simple". Il suffit que le pilote de l'avion arrive à suivre la bonne trajectoire parabolique.



Extrait d'un article de presse

Document 2 : Caractéristiques du vol parabolique

Angle par rapport à l'horizontale au début de la parabole	47°
Altitude au départ et à la fin de la parabole	7 600 m
Vitesse au début de la parabole	527 km.h ⁻¹
Altitude au sommet de la parabole	8 200 m
Vitesse au sommet de la parabole	355 km.h ⁻¹
Durée d'apesanteur (0 g)	22 s

Données :

- Masse de l'airbus A310 Zéro-G et de son équipement : $m = 1,5 \times 10^5 \text{ kg}$
- Constante de gravitation universelle $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$
- Intensité du champ de pesanteur à la surface de la Terre : $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$
- Masse de la Terre $M_T = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$
- Rayon de la Terre $R_T = 6,38 \times 10^6 \text{ m}$

On se place dans le référentiel terrestre considéré comme galiléen sur la durée d'une parabole.

1. Étude du mouvement de chute libre

On souhaite vérifier, par des considérations énergétiques, que la trajectoire suivie par l'avion est modélisable par une chute libre.

1.1. Rappeler la condition que doit vérifier l'énergie mécanique d'un système lorsqu'il est en chute libre.

1.2. Les caractéristiques de la trajectoire parabolique suivie par l'avion sont-elles compatibles avec une chute libre de l'avion ? Argumenter votre réponse avec un calcul d'énergie.

2. Intensité du champ de pesanteur dans un vol Zéro-G

2.1. En détaillant votre raisonnement, montrer que l'intensité de la pesanteur g_h , en un point situé à l'altitude h au-dessus de la surface de la Terre, peut s'écrire :

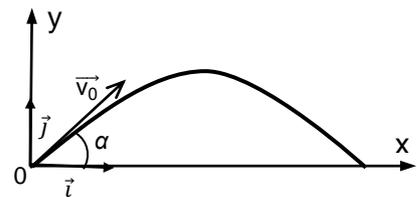
$$g_h = G \cdot \frac{M_T}{(R_T + h)^2}$$

2.2. Justifier, à partir du résultat précédent, qu'il est légitime de considérer que l'intensité de la pesanteur est constante lors d'un vol Zéro-G.

Dans la suite, on considère que l'intensité de la pesanteur terrestre est constante lors d'un vol Zéro-G et qu'elle est égale à $g = 9,8 \text{ N.kg}^{-1}$.

3. Durée des phases d'apesanteur

On étudie le mouvement dans le repère xOy donné ci-contre, le point O étant le début de la parabole.



3.1. Énoncer la deuxième loi de Newton.

3.2. Montrer que les équations horaires $x(t)$ et $y(t)$ d'un système en chute libre ont pour expressions

$$\begin{cases} x(t) = v_0 \cdot \cos(\alpha) \cdot t \\ y(t) = -\frac{1}{2} g t^2 + v_0 \cdot \sin(\alpha) \cdot t \end{cases}$$

3.3. En exploitant les équations horaires, calculer la durée d'apesanteur.

Ce résultat est-il cohérent avec la donnée du document 2 ?

3.4. Quels paramètres faut-il modifier pour augmenter la durée d'apesanteur ?

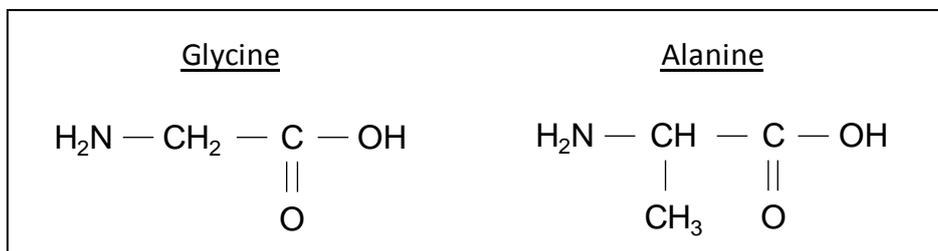
D'après vous, cela vous semblerait-il possible ?

EXERCICE II - LA SOIE D'ARAIGNÉE (9 points)

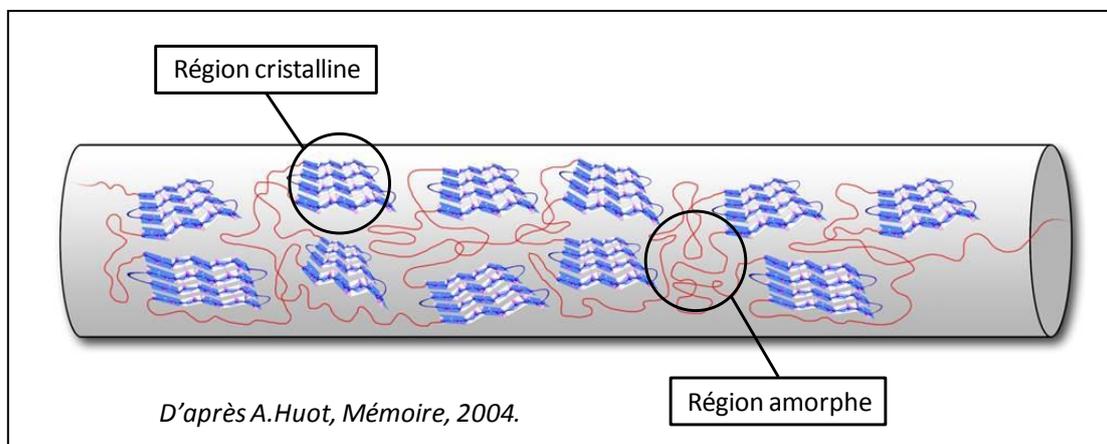
La soie que produisent les araignées pour tisser leurs toiles ou envelopper leurs proies possède des propriétés physico-chimiques si exceptionnelles (finesse, régularité, élasticité, solidité, imputrescibilité, etc...) qu'elle est devenue un sujet d'étude pour de nombreux scientifiques. Cet exercice aborde plusieurs aspects de la soie d'araignée considérée comme un matériau d'avenir.

1. Composition de la soie d'araignée

La soie d'araignée est essentiellement composée de fibroïne, une molécule constituée de plusieurs centaines d'acides aminés reliés les uns aux autres par des liaisons peptidiques. Les deux principaux acides aminés présents dans la fibroïne sont la glycine (40% environ) et l'alanine (25-30 % environ) dont les formules semi-développées sont indiquées ci-dessous.



Selon l'enchaînement des différents acides aminés au sein de la macromolécule de fibroïne, cette protéine peut adopter deux structures géométriques tridimensionnelles différentes : soit une structure semi-cristalline en feuillets bien ordonnés, soit une structure amorphe (inorganisée).



La soie d'araignée est donc un matériau dont les propriétés mécaniques découlent de l'organisation structurale particulière de la molécule de fibroïne : des régions cristallines expliquent la résistance élevée de la soie d'araignée tandis que des régions amorphes sont responsables de son importante élasticité.

1.1. Pourquoi les molécules de glycine et d'alanine appartiennent-elles à la famille des acides aminés ?

1.2. La molécule de glycine possède-t-elle des stéréoisomères ? Argumenter.

1.3. La molécule d'alanine compte deux stéréoisomères.

Donner la représentation de Cram de ces deux stéréoisomères puis justifier le type de relation de stéréoisomérisie qui les lie.

1.4. Après avoir hydrolysé les protéines de la soie d'araignée, on extrait la glycine et l'alanine. On réalise ensuite une spectroscopie RMN du proton afin de caractériser leur présence.

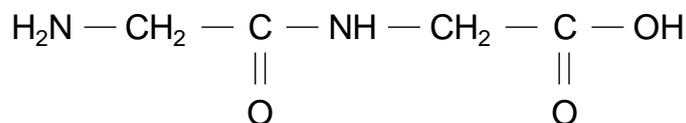
Indiquer le nombre de protons équivalents dans chaque molécule et prévoir, en expliquant votre démarche, le nombre et la multiplicité des signaux observés dans chacun des spectres RMN de la glycine et de l'alanine, sachant que les atomes d'hydrogène reliés aux atomes d'oxygène et d'azote n'interviennent pas dans la multiplicité des signaux des atomes d'hydrogène voisins.

2. Biomimétisme chimique

Actuellement, les chimistes cherchent à créer des fibres artificielles reproduisant les propriétés de la soie d'araignée en créant des polypeptides dont la composition et la structure sont les plus proches possibles de celles de la fibroïne. Les polypeptides sont de longues molécules obtenues par l'assemblage de plusieurs acides aminés. La réaction permettant d'assembler deux acides aminés est appelée « synthèse peptidique ».

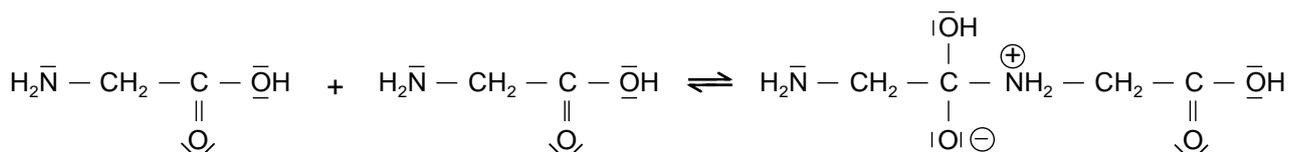
Principe et mécanisme réactionnel d'une synthèse peptidique

Si l'on met en présence deux molécules de glycine (Gly), elles réagissent l'une avec l'autre pour former un dipeptide, usuellement nommé Gly-Gly, dont la formule semi-développée s'écrit :

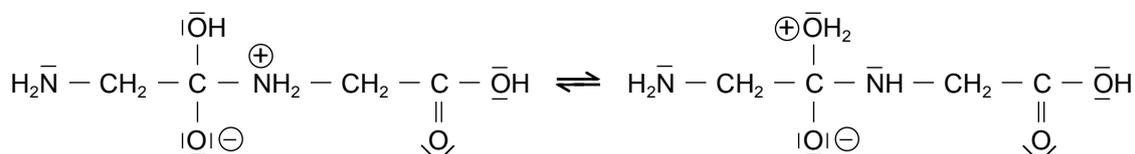


Le mécanisme réactionnel de la synthèse de ce dipeptide est le suivant :

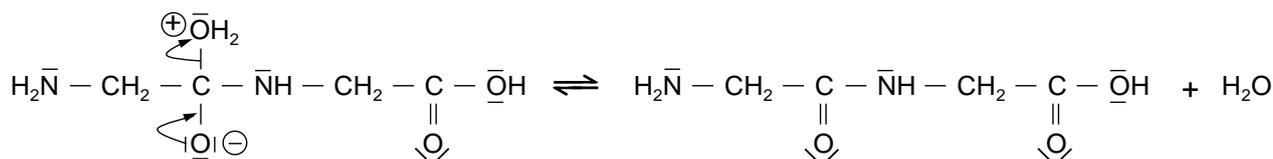
Étape (A) :



Étape (B) :



Étape (C) :



Stratégie de synthèse

Pour synthétiser un dipeptide donné, les chimistes doivent au préalable protéger les fonctions organiques qui ne doivent pas réagir ensemble, puis faire réagir les fonctions non protégées (synthèse peptidique), et enfin déprotéger les fonctions n'ayant pas participé à la synthèse. En l'absence de ces précautions, plusieurs dipeptides différents peuvent être obtenus au terme de la synthèse peptidique.

Donnée :

- Comparaison des électronégativités de quelques éléments : $\chi(\text{H}) \approx \chi(\text{C})$ et $\chi(\text{C}) < \chi(\text{O})$

2.1. Nommer la nouvelle fonction chimique présente dans le dipeptide Gly-Gly.

2.2. Analyse du mécanisme réactionnel

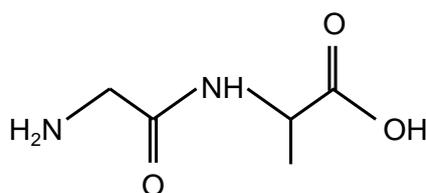
2.2.1. Recopier l'étape (A) du mécanisme réactionnel de cette synthèse et la compléter par le tracé des flèches courbes nécessaires. Justifier précisément l'orientation de la flèche conduisant à la formation de la liaison.

2.2.2. L'étape (B) de ce mécanisme réactionnel correspond à une « réaction acido-basique intramoléculaire ». Justifier cette appellation.

2.2.3. À quelle catégorie de réaction appartient l'étape (C) de ce mécanisme réactionnel ? Justifier.

2.3. Combien de dipeptides différents peut-on, a priori, obtenir par synthèse peptidique d'un mélange de glycine (Gly) et d'alanine (Ala), sous la forme d'un unique énantiomère chacun? Argumenter votre réponse.

2.4. La fabrication de fibres artificielles aussi élastiques et solides que la soie d'araignée utilise en grande partie le dipeptide Gly-Ala comme motif de base de la chaîne polypeptidique. La formule topologique de ce dipeptide est la suivante :



Ce dipeptide étant obtenu par synthèse peptidique en faisant réagir de la glycine (Gly) et de l'alanine (Ala), préciser la (ou les) fonction(s) que l'on doit protéger sur chacune de ces deux molécules pour obtenir uniquement le dipeptide Gly-Ala.

3. Détermination du diamètre d'un fil d'araignée

Un fil d'araignée, de diamètre inconnu noté a , est maintenu en position verticale et éclairé au moyen d'une source laser rouge de longueur d'onde $\lambda = 615 \text{ nm}$. Le fil est placé à quelques centimètres de la source laser et à une distance D assez éloignée d'un écran vertical. La figure de diffraction obtenue à l'écran est caractérisée par une tache centrale de largeur L et un angle de diffraction noté θ .

Schéma de l'expérience en vue de profil

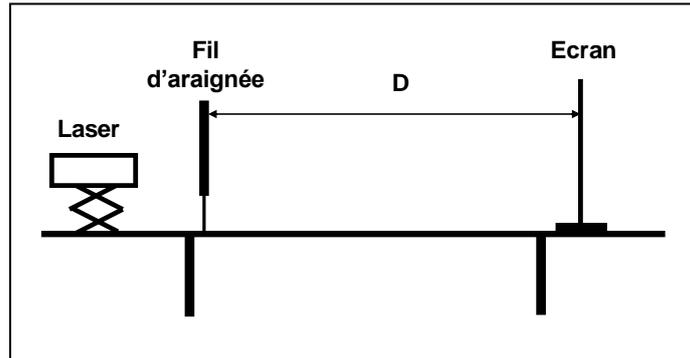
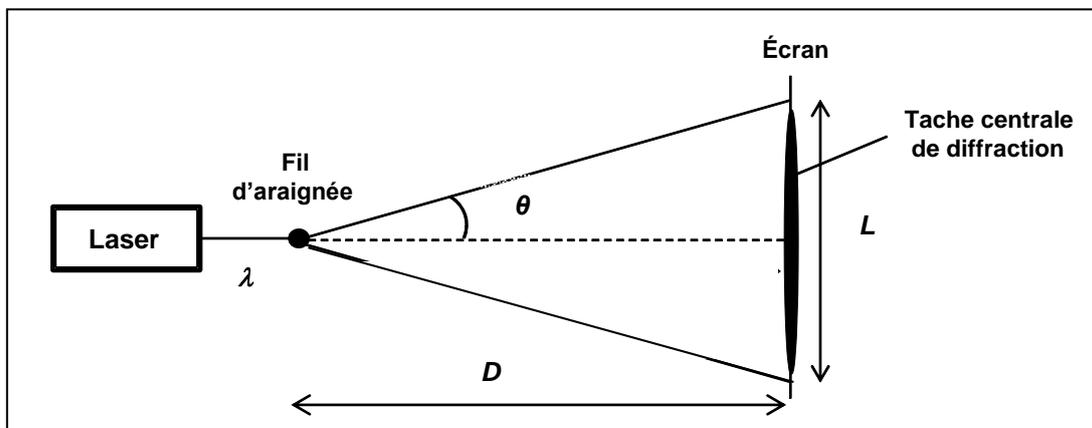


Schéma de l'expérience en vue de dessus, sans souci d'échelle



3.1. Quel caractère de la lumière est mis en évidence par l'apparition d'une figure de diffraction ?

3.2. Rappeler l'expression qui lie les grandeurs a , θ et λ . Sachant que $\tan(\theta) = \theta$ pour les faibles valeurs de θ en radians, démontrer que la largeur L de la tache centrale de diffraction admet pour expression littérale :

$$L = \frac{2 \cdot \lambda \cdot D}{a}$$

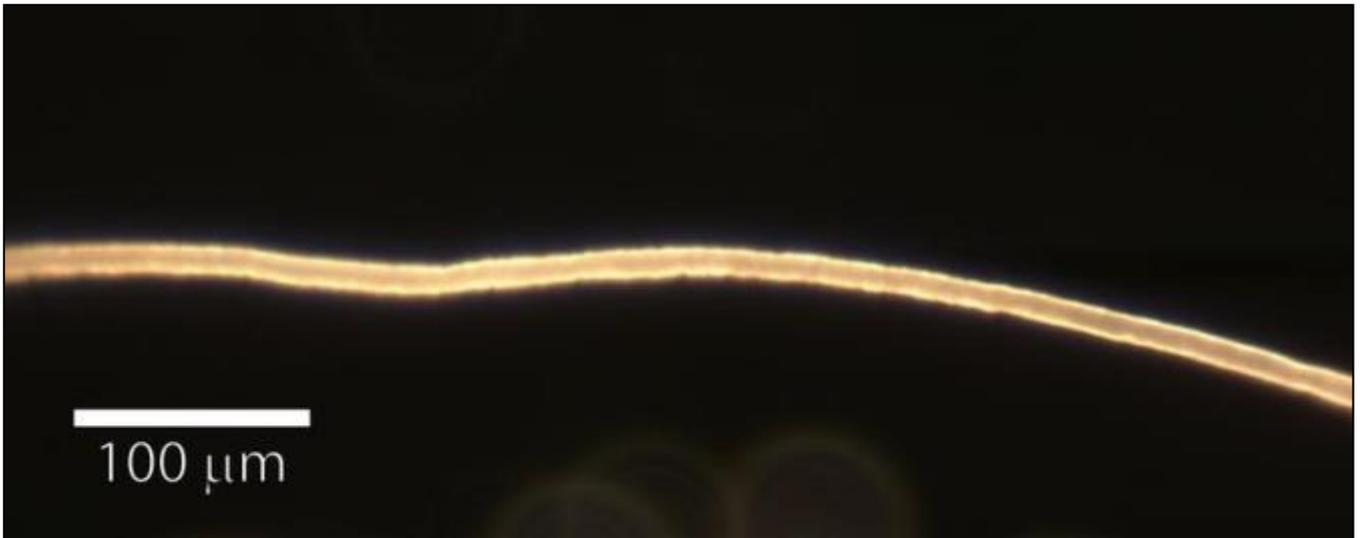
3.3. Calculer, en m puis en μm , le diamètre a du fil d'araignée analysé sachant que $D = 2,00 \pm 0,01$ m et $L = 18,8 \pm 0,4$ cm.

La source lumineuse étant un laser, on fera l'hypothèse que l'incertitude sur la longueur d'onde peut être négligée par rapport aux autres incertitudes. L'incertitude absolue $U(a)$ associée à la mesure du diamètre a du fil d'araignée dépend uniquement des incertitudes absolues $U(D)$ et $U(L)$ associées aux distances D et L selon la relation suivante :

$$\left(\frac{U(a)}{a}\right)^2 = \left(\frac{U(D)}{D}\right)^2 + \left(\frac{U(L)}{L}\right)^2$$

3.4. Exprimer le résultat de la mesure expérimentale du diamètre a du fil d'araignée sous la forme d'un encadrement.

Le même fil d'araignée que celui étudié dans la partie précédente est maintenant observé et photographié à l'aide d'un microscope optique équipé d'un appareil-photo numérique. Voici le cliché obtenu :



3.5. Déterminer le diamètre a du fil à partir du cliché ci-dessus et donner le résultat assorti de l'incertitude absolue $U(a)$ associée à cette valeur. Dans cette mesure, on considère que :

$\frac{U(a)}{a} = \frac{U(d)}{d}$ avec d la valeur mesurée sur la photographie et $U(d)$ l'incertitude absolue associée.

3.6. La mesure par diffraction du diamètre du fil d'araignée réalisée dans la partie précédente est-elle cohérente avec la mesure effectuée au microscope optique ? Détailler la réponse.

3.7. Quelle méthode est-il préférable d'utiliser pour réaliser cette mesure ? Justifier votre réponse.

4. Élasticité et solidité d'un fil d'araignée

Dans les forêts tropicales d'Amérique, la néphile clavipes est l'une des araignées les plus communes et les plus impressionnantes. Sa toile dépasse souvent un mètre de diamètre, les fils de soie ont des reflets dorés et collent fortement. Si par mégarde, vous prenez une telle toile dans le visage lors d'une sortie nocturne, vous verrez que les fils ne cèdent pas ! Ils sont si résistants que l'on cherche à les utiliser dans la fabrication de gilets pare-balles.

D'après www.futura-sciences.com

Modèle élastique d'une fibre cylindrique

Lorsque l'on soumet une fibre élastique cylindrique de rayon R et de longueur L_0 à une force longitudinale de valeur F appelée « force de traction », la fibre s'allonge et acquiert une nouvelle longueur $L > L_0$. Aux faibles valeurs de F , l'allongement $\Delta L = L - L_0$ de la fibre est proportionnel à la valeur de la force appliquée et satisfait à la relation suivante :

$$\Delta L = \frac{F \cdot L_0}{E \cdot \pi \cdot R^2}$$

où E est une constante appelée « module de traction » qui dépend de la nature de la fibre.

Valeurs usuelles du module de traction E de différentes fibres synthétiques et naturelles

Matériau	Cheveu	Nylon	Laine	Soie de la néphile clavipes
Module de traction E ($\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$)	10×10^9	3×10^9	14×10^9	8×10^9

Donnée :

- Intensité de la pesanteur terrestre : $g = 9,8 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$

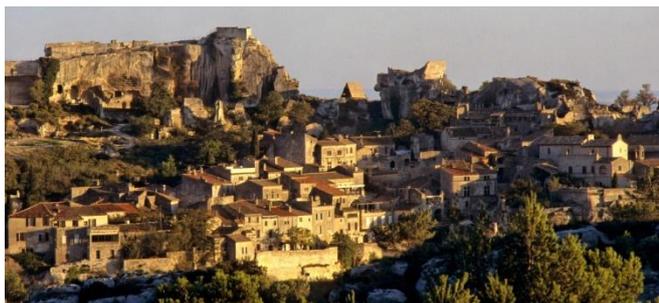
4.1. Par une analyse dimensionnelle, vérifier que le module de traction d'une fibre élastique s'exprime en $\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$.

4.2. On soumet un fil de soie d'araignée néphile clavipes de rayon $R = 2,5 \mu\text{m}$ et de longueur initiale $L_0 = 6,5 \text{ cm}$ à une force de traction de valeur $F = 0,03 \text{ N}$. Le fil s'allonge alors jusqu'à atteindre une longueur $L = 7,7 \text{ cm}$. Vérifier que ces valeurs expérimentales sont en accord avec la valeur du module de traction de la soie de cette araignée fournie dans l'énoncé.

4.3. Expliquer qualitativement comment varie l'élasticité d'une fibre en fonction de la valeur de son module de traction, puis comparer les propriétés élastiques d'un fil d'araignée néphile clavipes, d'un cheveu, du nylon et de la laine.

4.4. Sachant qu'un fil de soie de néphile clavipes de rayon $R = 2,5 \mu\text{m}$ peut s'allonger au maximum de 35 % avant de rompre, calculer la masse maximale que l'on peut suspendre verticalement à un tel fil avant sa rupture.

EXERCICE III – EXTRACTION DE LA BAUXITE (5 points)



La bauxite est une roche dont le nom provient du village des Baux-de-Provence où elle a été découverte.

Elle contient différents oxydes dont la silice de formule SiO_2 et l'alumine de formule Al_2O_3 utilisée pour la fabrication de l'aluminium.



Le procédé de production industrielle de l'alumine le plus utilisé aujourd'hui est le procédé Bayer. Il fut mis en œuvre dès 1894 par différentes usines situées dans le sud de la France. Il est basé sur l'attaque de la bauxite par de la soude.

Questions préliminaires :

1. Quelle est la réaction, support du titrage, mise en œuvre pour déterminer la concentration de la solution de soude utilisée pour le traitement de la bauxite ?
2. En déduire la concentration molaire de l'hydroxyde de sodium dans la solution de soude utilisée lors de la mise en œuvre du procédé Bayer.

Problème :

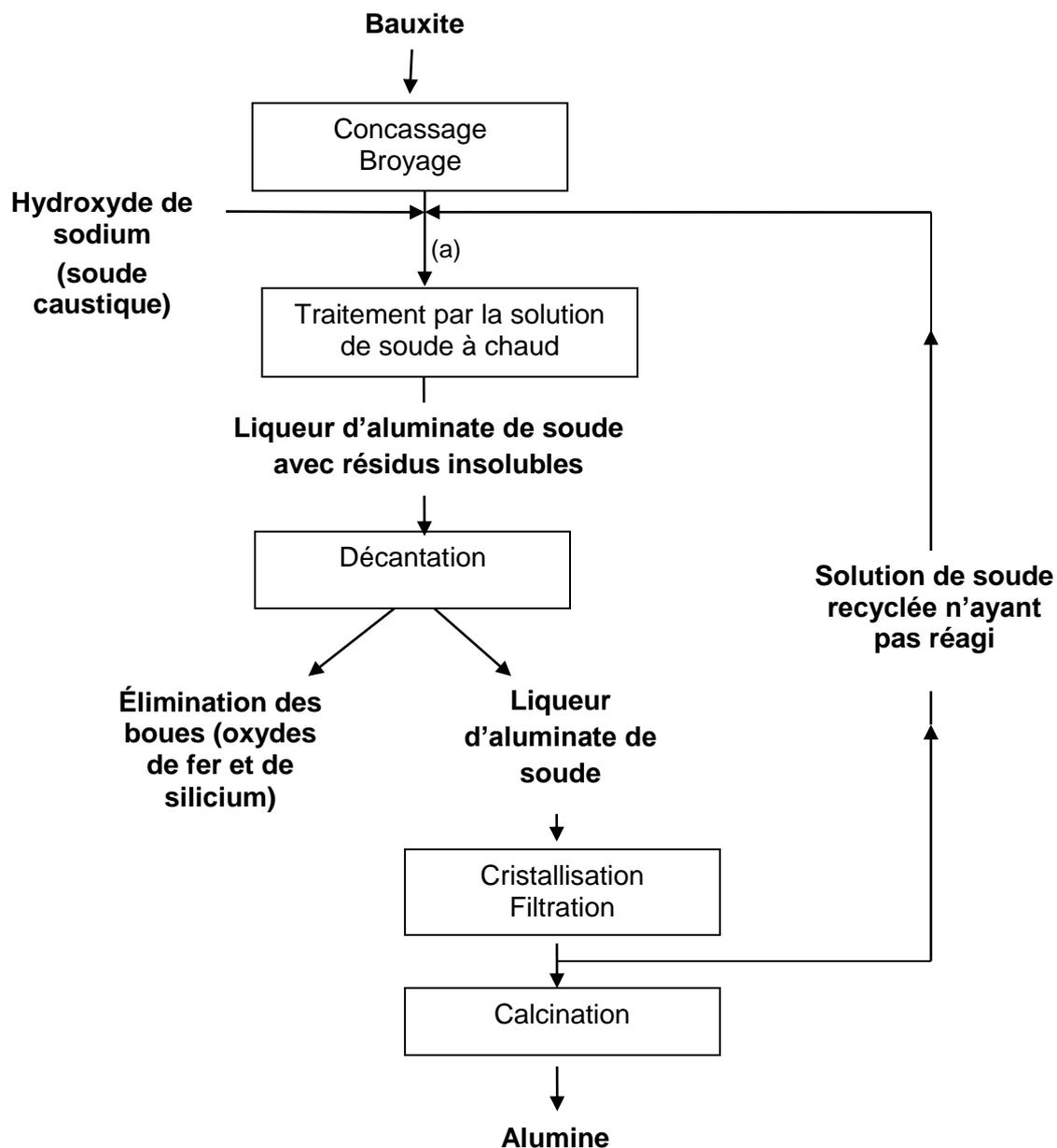
Pour une heure de traitement de bauxite en continu, quelle masse d'hydroxyde de sodium solide faut-il introduire dans le réacteur afin de maintenir la concentration de la soude constante ?

L'analyse des données et des documents ainsi que la démarche suivie seront évaluées et nécessitent d'être correctement présentées. Une analyse critique des résultats est attendue.

Données :

- L'hydroxyde de sodium est un solide de formule NaOH ;
- Une solution de soude est une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium ;
- Masses molaires en $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$: $M(\text{H}) = 1,0$; $M(\text{O}) = 16,0$; $M(\text{Na}) = 23,0$; $M(\text{Al}) = 27,0$;
- $\text{p}K_a$ des couples acide/base de l'eau : $\text{p}K_a (\text{H}_3\text{O}^+/\text{H}_2\text{O}) = 0$; $\text{p}K_a (\text{H}_2\text{O}/\text{HO}^-) = 14$.

Schéma du procédé Bayer d'extraction de l'alumine de la bauxite



Après broyage, la bauxite est attaquée à chaud, sous pression, par une solution de soude, ce qui permet d'obtenir une liqueur d'aluminate de soude avec des résidus insolubles en suspension. Cette liqueur est ensuite décantée : les oxydes de fer et de silicium forment une boue rouge, chimiquement inerte, qui est évacuée vers un site de déversement approprié. La liqueur restante est renvoyée dans des décomposeurs pour précipitation de l'alumine, qui est ensuite récupérée par filtration et calcinée.

La solution de soude non utilisée est renvoyée dans le réacteur dans lequel on rajoute de la soude solide afin de maintenir la concentration en soude constante. Les besoins en soude solide correspondent :

- à la soude nécessaire à la réaction ;
- à la soude perdue lors du procédé notamment dans les boues (estimées à 2,5 % de la masse de soude utilisée pour le traitement de la bauxite).

Données techniques du procédé Bayer :

- pourcentage massique en alumine dans la bauxite : 50 % ;
- débit massique de bauxite : 10 kg.h^{-1} ;
- débit volumique de la solution de soude utilisée pour le traitement de la bauxite: 338 L.h^{-1} .
On considère ce débit comme constant au point (a).

Traitement de la bauxite par la solution de soude pour extraire l'alumine

Le minerai est attaqué par une solution de soude ($\text{Na}^+_{(\text{aq})} + \text{HO}^-_{(\text{aq})}$) dans un réacteur sous une pression de 10 bars à une température de 250 °C.

La transformation de l'alumine par la solution de soude peut être modélisée par la réaction d'équation suivante :



Un très large excès de solution de soude dans le réacteur permet de rendre cette réaction quasi-totale.

La soude n'ayant pas réagi est recyclée. Afin de conserver une concentration massique en soude constante dans le réacteur, on introduit régulièrement de l'hydroxyde de sodium solide.

Titrage de la solution de soude utilisée pour le traitement de la bauxite

On réalise au préalable une dilution au dixième de la solution de soude utilisée dans le procédé.

Puis on procède au titrage acido-basique, suivi par conductimétrie, d'un volume de 5,0 mL de solution diluée de soude par de l'acide chlorhydrique ($\text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})} + \text{Cl}^-_{(\text{aq})}$) de concentration molaire 0,50 mol.L⁻¹.

On obtient le graphique suivant :

