BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2019

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

Spécialité

DURÉE DE L'ÉPREUVE : **3 h 30** – COEFFICIENT : **8**

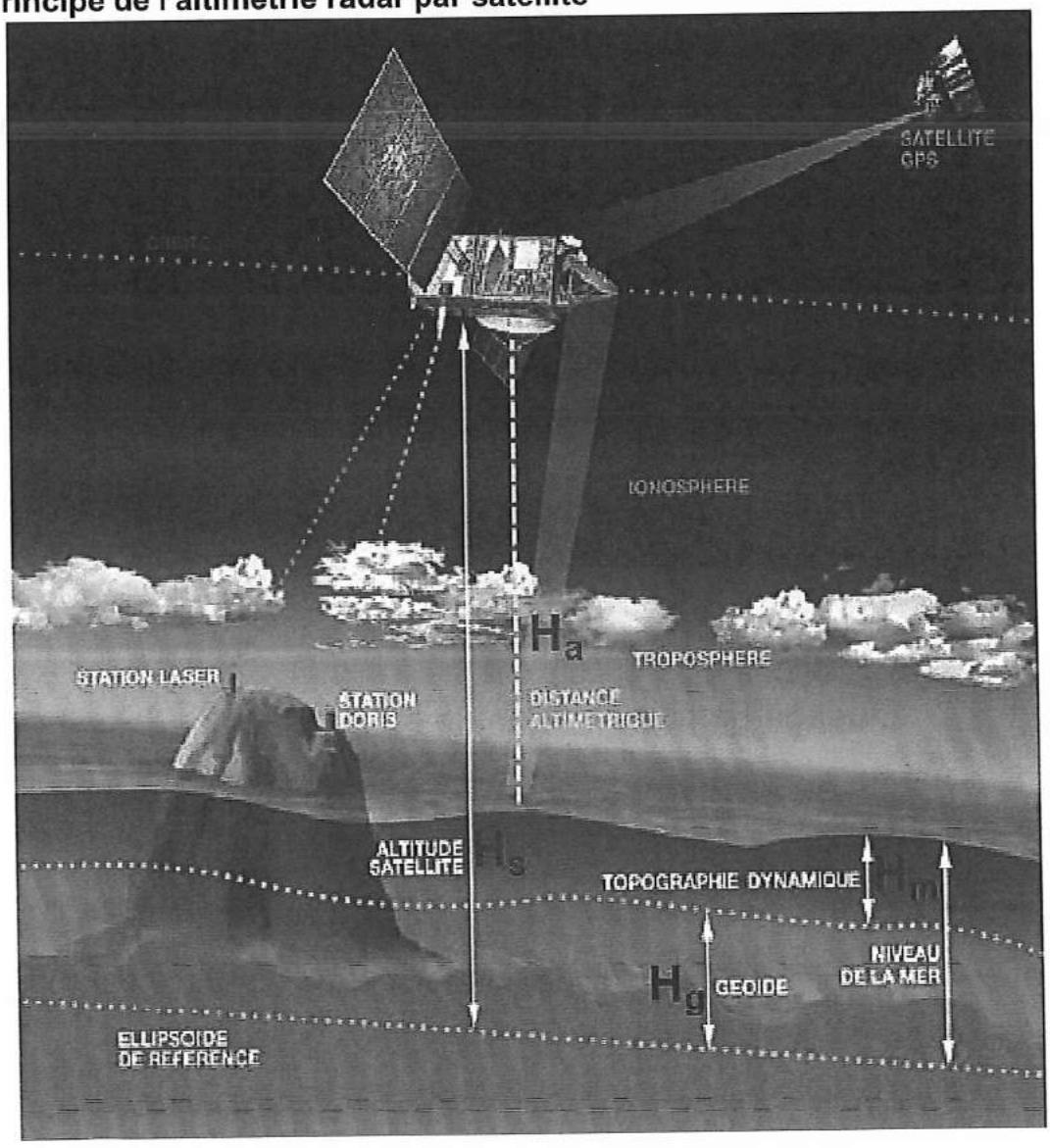
L'usage de tout modèle de calculatrice,
avec ou sans mode examen, est autorisé

Ce sujet comporte **15** pages numérotées de **1** à **15**.
Les pages numérotées 14/15 et 15/15 sont à rendre avec la copie.
Le sujet est composé de 3 exercices indépendants les uns des autres.
Le candidat doit traiter les trois exercices.

EXERCICE I. LES OCEANS SOUS HAUTES SURVEILLANCES (6 points)

Les océanographes ne peuvent plus s'en passer. De quoi ? Des satellites Jason ! Ces satellites altimétriques initiés par le lancement de Topex-Poseidon en 1992 puis de Jason 1 en 2001 et Jason 2 en 2008 donnent une cartographie évolutive de la surface des océans avec une précision meilleure que 5 cm.
Jason 3 permettra d'assurer au moins jusqu'en 2020 la continuité de ces mesures, capitales dans le contexte du réchauffement climatique. En 2020 et 2026, deux autres satellites Jason le rejoindront sur la même orbite : Jason-CS-A/Sentinel-6A et Jason-CS-B/Sentinel-6B.

1. Principe de l'altimétrie radar par satellite



Un radar embarqué sur le satellite émet verticalement des ondes radio sous forme de brèves impulsions. On mesure alors le temps de retour de l'onde émise par le satellite après réflexion sur la surface de la mer.
L'écho de chaque impulsion est détecté et analysé à bord du satellite, ce qui conduit à une détermination précise de la distance « altimétrique », c'est-à-dire la distance H_a entre le satellite et le niveau de la mer.

1.1. Donner l'expression de la durée Δt d'un aller-retour du signal radar en fonction de la célérité c supposée constante des ondes envoyées par l'altimètre et de la distance H_a.

1.2. Les ondes émises et reçues par l'altimètre traversent un milieu qui n'est pas vide : certaines entités (atomes, molécules, ions...) présentes dans l'atmosphère peuvent ralentir la propagation des ondes et affecter les mesures. C'est le cas des électrons, très abondants vers 400 km d'altitude, de l'air sec et de la vapeur d'eau à plus basse altitude. Sur Jason, c'est le radiomètre AMR qui permet, à l'aide de mesures effectuées à trois fréquences, de connaître le délai induit par l'eau atmosphérique dans la propagation de l'onde radar de l'altimètre.

Soit Δt_1 la durée nécessaire à une onde radar de l'altimètre pour effectuer un aller-retour dans un nuage de type cumulonimbus de hauteur h = 2,0 km et d'indice moyen pour l'onde électromagnétique utilisée n_1 = 1,00032.
Soit Δt_2 la durée nécessaire à la même onde pour effectuer un aller-retour dans une colonne atmosphérique, dépourvue de nuage, de même hauteur h et d'indice moyen n_2 = 1,00029.
Les valeurs des indices n_1 et n_2 ont été obtenues à l'aide du radiomètre.

Données

L'indice d'un milieu transparent est défini par la relation $n = \frac{c}{v}$ avec :
- c : célérité des ondes électromagnétiques dans le vide, $c = 3{,}0.10^8$ m.s^{-1} ;
- v : célérité des ondes électromagnétiques radio dans le milieu d'indice n.

1.2.a. Montrer que le délai supplémentaire $\tau = \Delta t_1 - \Delta t_2$ induit par la traversée (aller et retour) d'un nuage vaut $\tau = \frac{2h}{c}(n_1 - n_2)$. Calculer τ.

1.2.b. Calculer la distance d en cm que l'onde électromagnétique radio parcourrait dans l'atmosphère dépourvue de nuage pendant cette même durée τ.
Conclure sur l'intérêt de l'utilisation du radiomètre.

2. Caractéristiques de l'orbite de Jason

« L'orbite du satellite Jason est choisie de façon à optimiser la répétition des mesures sur la plus grande partie possible de la surface du globe. L'altitude de 1336 km est assez élevée pour que le satellite ne soit plus sensible aux frottements dus au gaz atmosphérique résiduel, ni aux fluctuations de la gravité liées aux reliefs terrestres. La stabilité de l'orbite permet de situer avec précision la position du satellite, sa hauteur H_s et sa trace au sol en longitude et latitude. »
D'après « Les satellites Jason et la mesure du niveau des océans » Partenariat Eduscol- ENS Lyon

2.1. Représenter, sans souci d'échelle, sur la **figure 1 de l'*ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE*** la force, $\vec{F}_{T/S}$, modélisant l'interaction gravitationnelle exercée par la Terre sur le satellite supposé ponctuel et noté S (la répartition de masse de la Terre est supposée à symétrie sphérique).

2.2. Donner l'expression vectorielle de cette force en fonction de certaines données de l'énoncé et du vecteur unitaire $\vec{N}$ indiqué sur la figure 1 de l'annexe.

Données

- *Terre* *Masse : $M = 5{,}98 \times 10^{24}$ kg ; rayon : $R_T = 6{,}38 \times 10^3$ km*
  Période de rotation sur elle-même : T_T = 23h 56min 4s

- *Jason* *Masse : m = 510 kg ; altitude : H_s*
  Période de rotation autour de la Terre : T_J = 112 min

- *Constante gravitationnelle : $G = 6{,}67 \times 10\text{-}11$ N.m² .kg⁻²*

2.3. En considérant la seule action de la Terre, établir l'expression vectorielle de l'accélération $\vec{a}$ du satellite dans le référentiel géocentrique, supposé galiléen.

2.4. Montrer que, dans le cas d'un mouvement circulaire, dont on admettra sans démonstration qu'il est uniforme, la vitesse V du satellite a pour expression :

$$V = \sqrt{\frac{G \times M}{R_T + Hs}}$$

2.5. En déduire la valeur de la période de rotation T_S du satellite que l'on comparera à celle donnée dans l'énoncé.

3. Détermination précise de l'orbite

Une détermination très précise de la position du satellite en orbite est une des conditions essentielles de la qualité des données altimétriques. Le système DORIS (Détermination d'Orbites et Radio positionnement Intégré par Satellite), basé sur l'effet Doppler, contribue en partie à ce délicat exercice d'orbitographie.
Le système DORIS comporte environ 60 stations réparties uniformément sur tout le globe, chaque station se compose d'une balise émettrice, d'une antenne réceptrice et d'un jeu de capteurs météorologiques. Les balises émettent en continu des signaux de différentes fréquences dont l'une vaut f_0 = 401,250 MHz.

3.1. Compléter le **document 1 « principe de l'effet Doppler »** de l'***ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE*** en faisant l'analogie avec les ondes sonores.

3.2. La vitesse v d'un satellite est reliée à la fréquence f_0 de l'onde électromagnétique émise par la balise et à la fréquence de l'onde reçue par le satellite f_r par la relation

$$f_r = f_0 \left(1 + \frac{v \times \cos(\theta)}{c}\right)$$

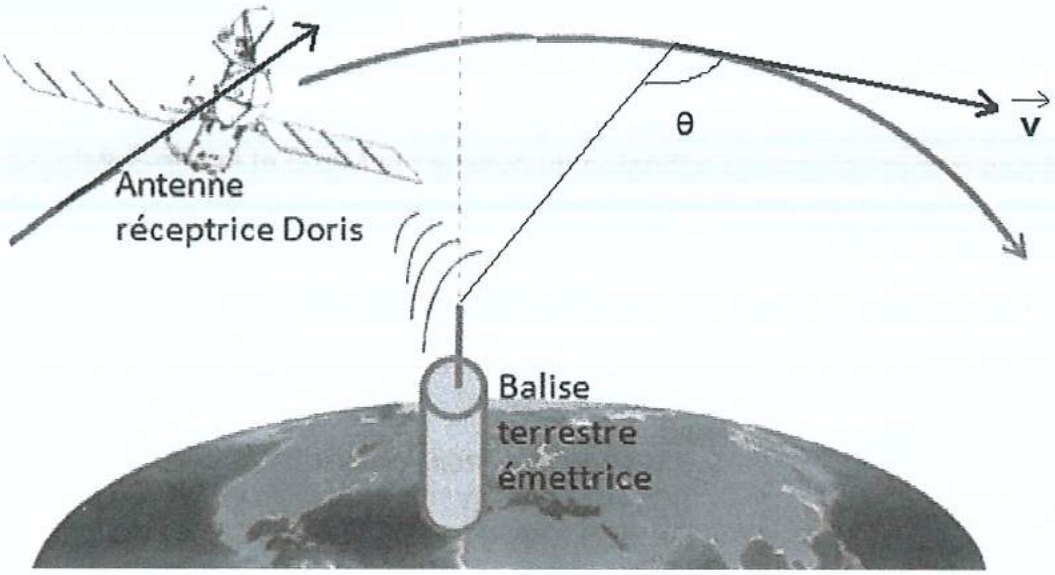
avec :

- c, la célérité des ondes électromagnétiques
- θ, angle que fait le vecteur vitesse avec la direction balise satellite (voir **figure 2** ci-après).

3.2.a. Exprimer la vitesse v du satellite en fonction de la variation de fréquence $\Delta f = f_r - f_0$, de f_0 , c et $\cos(\theta)$.

3.2.b. Calculer la valeur de la vitesse v du satellite en km.s^{-1} pour une variation de fréquence $\Delta f = -4{,}07$ kHz et un angle $\theta = 115°$.
Comparer cette valeur à celle que l'on peut calculer à l'aide de l'expression trouvée à la question **2.4.**

Figure 2



EXERCICE II. LE BYSSUS DE LA MOULE (9 points)

Les moules sont des mollusques qui ont la faculté de s'accrocher à toutes sortes de supports : rochers, cordes, coques de bateau.

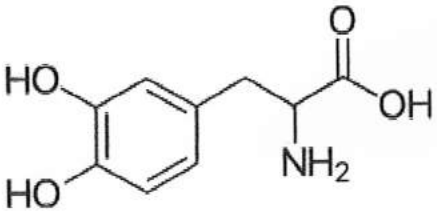
Une glande sécrète le byssus, une colle très puissante qui durcit sous forme de filaments élastiques résistant à l'eau, aux rayonnements ultraviolets et au sel.

Cet exercice étudie quelques propriétés remarquables de ces filaments.

La recherche de nouveaux adhésifs efficaces en milieu aqueux a conduit à isoler les deux principales protéines responsables de l'adhésion du byssus : la Mfp-3 et la Mfp-5 (Mfp *pour Mussel foot protein*) contenant de la L-3,4-dihydroxyphénylalanine, un acide aminé rare plus communément appelé L-DOPA.

Les parties 1 à 4 de cet exercice sont indépendantes

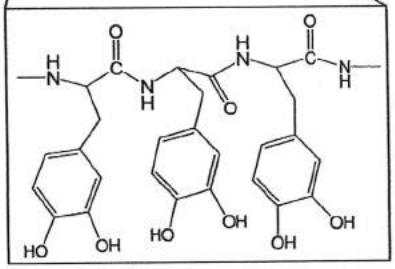
1. Propriétés adhésives



3,4-dihydroxyphénylalanine

Mfp5
*S*SEEYKGGYYPGNAYHYHSGG*S*YHG
*S*GYHGGYKGKYYGKAKKYYYKYKN*S*
GKYKYLKKARKYHRKGYKYYGG*S*S
Mfp3
ADYYGPNYGPP*RR*YGGGNYN*R*YN*R*Y
G*RR*YGGYKGWNNGWN*R*G*RR*GKYW

Y: DOPA
S: Phosphoserine
R: Hydroxyarginine

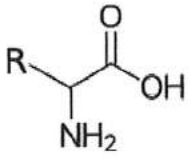


Séquençage de la Mfp-3 et de la Mfp-5

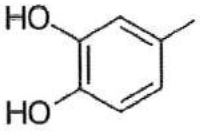
d'après Haeshin et al. Proceedings of the National Academy of Sciences of The United States of America. Vol.103. N°35. 2006.

1.1. L'introduction indique que le byssus contient un acide aminé rare, la 3,4-dihydroxyphénylalanine. Justifier que cette molécule est bien un acide aminé.

Dans la suite de l'exercice, on simplifiera la formule de la 3,4-dihydroxyphénylalanine :



où R désigne le groupe :



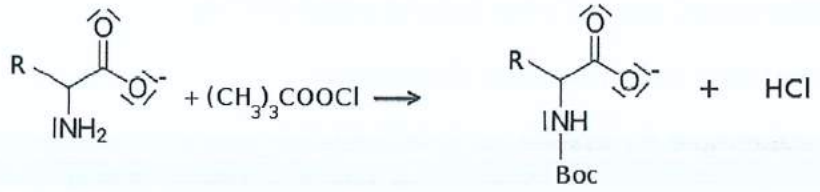
1.2. La L-DOPA est un des deux énantiomères de la 3,4-dihydroxyphénylalanine. Représenter ces deux énantiomères.

2. Synthèse des protéines des filaments du byssus

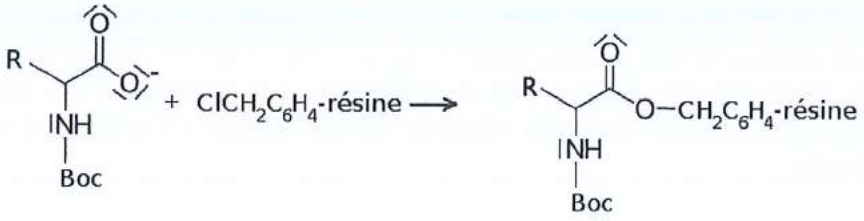
La synthèse en laboratoire des protéines Mfp-3 et Mfp-5 est étudiée à l'Université de l'Illinois, notamment pour l'élaboration d'adhésifs à usage médical. Pour obtenir un rendement convenable, on réalise une synthèse dite convergente, c'est-à-dire la création de petits polypeptides qui sont ensuite assemblés pour former la protéine finale.

On étudie ici la création d'un dipeptide obtenu à partir de deux molécules de L-3,4-dihydroxyphénylalanine. Des étapes de la synthèse sont présentées ci-dessous :

Etape 1

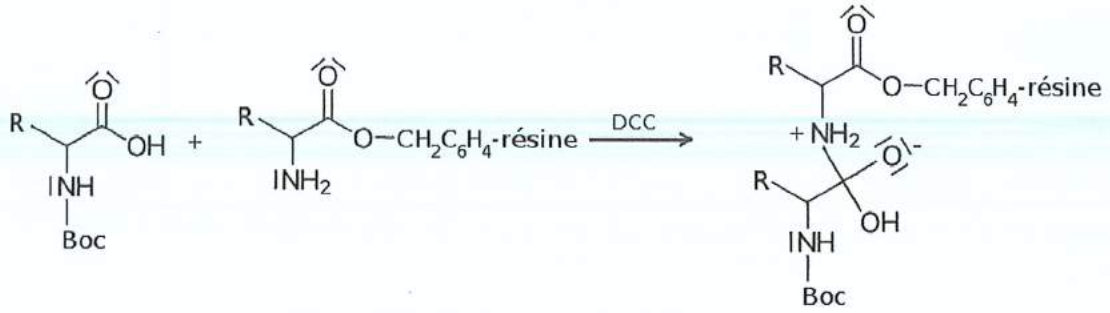


Etape 2

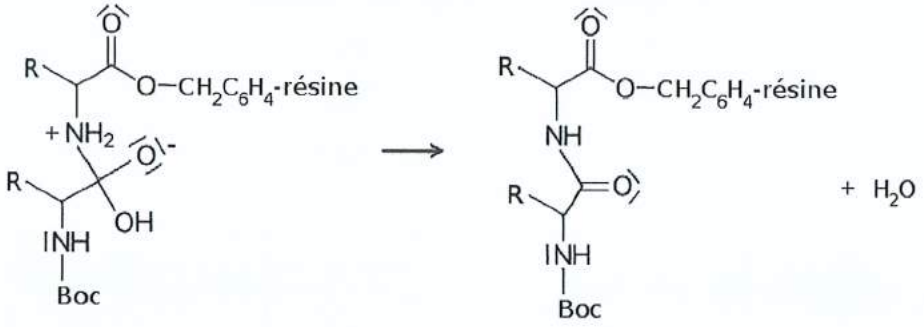


Etape 3

Etape 4



Etape 5



(Dans l'étape 4, DCC désigne le N,N-Dicyclohexylcarbodiimide)

La première étape consiste à protéger le groupe amino de l'acide aminé par addition d'un groupe 1,1-diméthyléthoxycarbonyle $(CH_3)_3COOC$-, noté Boc en abrégé.

2.1. Justifier la nécessité de cette première étape pour la suite de la synthèse.

Dans la L-3,4-dihydroxyphénylalanine, le groupe carboxyle est un acide faible dont le pKa est proche de 2,2 alors que le groupe amino est une base faible caractérisée par un pKa proche de 9,4.

2.2. Montrer à l'aide d'un diagramme de prédominance que le pH doit être supérieur à 9,4 pour l'étape 1.

2.3. Compléter, sur l'***ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE***, l'étape 4 en faisant apparaître les flèches courbes du mécanisme réactionnel.

2.4. À quelle catégorie de réactions correspondent respectivement l'étape 4 et l'étape 5 du mécanisme ? Justifier.

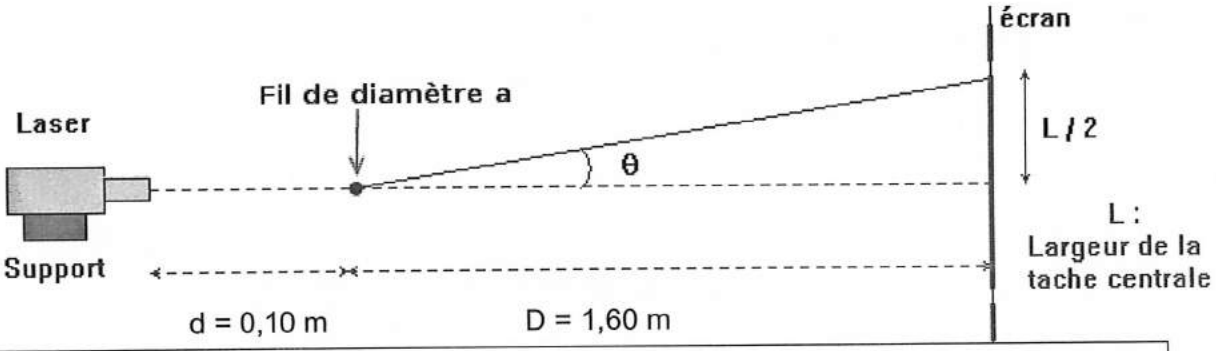
2.5. En une phrase, préciser quelle serait l'étape suivante qui permettrait la croissance de la chaîne peptidique par l'ajout d'un troisième acide aminé.

3. Extraction des protéines des filaments du byssus

Données Masse volumique du byssus : $\rho = 640\ kg.m^{-3}$

Pourcentage massique du byssus en Mfp-3 et Mfp-5 : 0,9 %

Pour s'arrimer, une moule forme un réseau d'une cinquantaine de filaments de byssus qui mesurent entre 4 et 6 cm de long. Pour déterminer leur diamètre, on procède à des expériences de diffraction avec trois fils étalons et un filament de byssus que l'on peut assimiler à un cylindre.



Montage expérimental de diffraction. La longueur d'onde du laser est $\lambda = 630$ nm.

Fil étalon	Diamètre a en µm
F_1	60
F_2	90
F_3	120

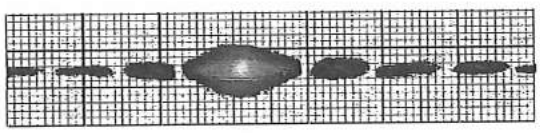


Figure A

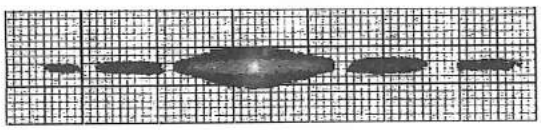


Figure B

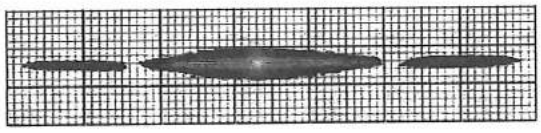


Figure C

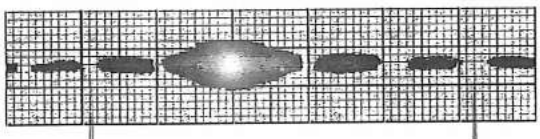


Figure obtenue avec le filament de byssus

On rappelle que l'écart angulaire θ du faisceau peut être relié à la longueur d'onde λ (en m) de la lumière monochromatique et au diamètre a (en m) du fil par l'équation :

$$\theta = \frac{\lambda}{a}$$

3.1. Associer chacune des figures A, B et C à l'un des fils F_1, F_2 et F_3. Justifier.

3.2. On souhaite déterminer la valeur du diamètre a du filament de byssus.

3.2.a. Établir la relation entre l'écart angulaire θ et la largeur L de la tache centrale de diffraction. On se placera dans le cas où l'on peut faire l'approximation $\tan\theta \approx \theta$ pour un angle θ petit.

3.2.b. Montrer par un calcul que le diamètre a vaut environ 100 µm.

3.3. À l'université de Pohang en Corée du Sud, les recherches visent à obtenir les protéines adhésives Mfp-3 et Mfp-5 en les extrayant à partir de véritables filaments de byssus.

3.3.a. En prenant une longueur moyenne de 5 cm pour les filaments du byssus, déterminer la masse de protéine adhésive extraite à partir d'une seule moule.

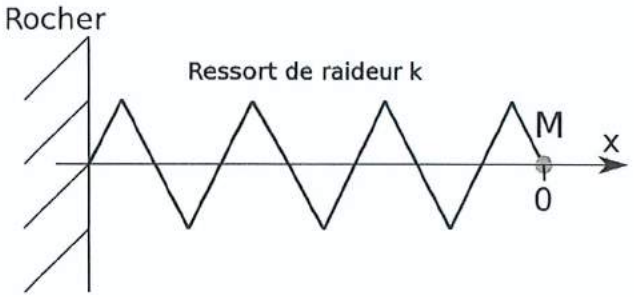
3.3.b. Estimer le nombre de moules qu'il faut traiter pour obtenir 1 gramme de protéines adhésives extraites des filaments de byssus. Conclure sur la pertinence d'une exploitation des ressources naturelles.

Protéine →

4. Propriétés élastiques des filaments de byssus

Les propriétés adhésives du byssus ne suffisent pas à expliquer la résistance de l'ancrage des moules, surtout en période de tempête hivernale.

Pour étudier le comportement dynamique de la moule soumise aux vagues, on assimile celle-ci à un point matériel M et le réseau de filaments de byssus à un ressort de raideur $k = 500$ N.m^{-1}. Initialement, la moule est à l'abscisse $x = 0$ et, à $t = 0$, la vague lui communique une vitesse initiale $v_0 = 2$ m.s^{-1} dirigée suivant l'axe x.



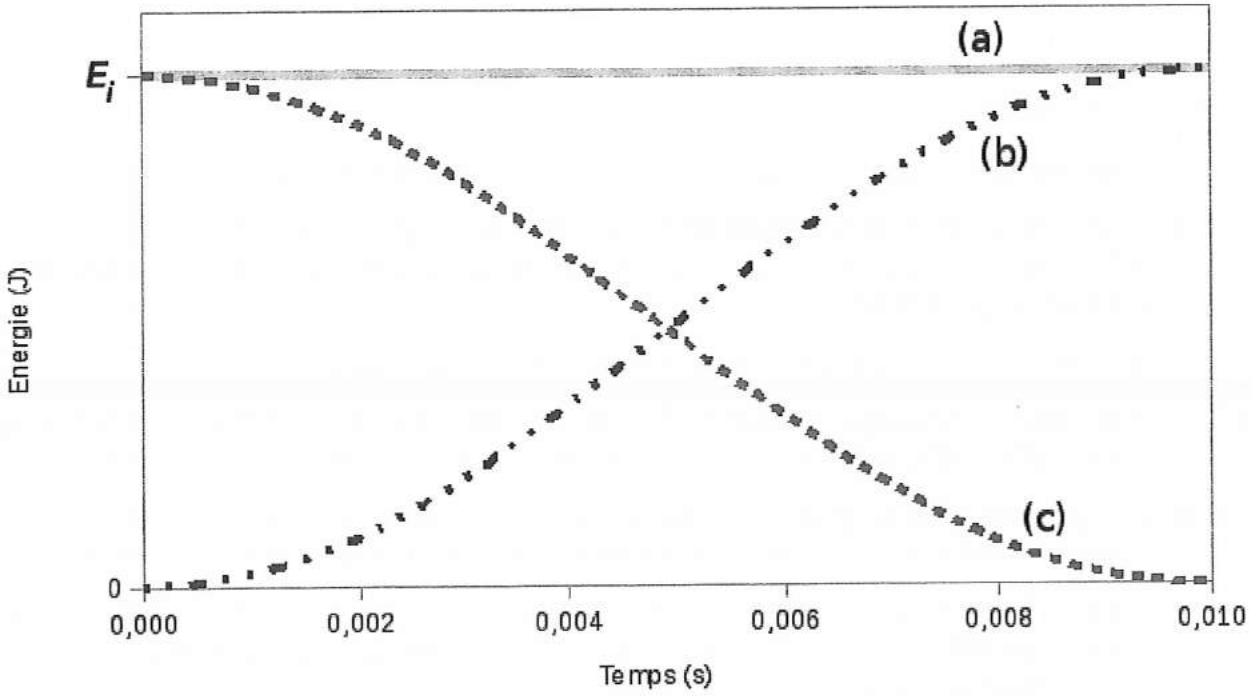
Données

Masse d'une moule : $m = 20$ g
Force maximale avant rupture du réseau de filaments de byssus : $F_{max} = 5{,}1$ N

L'intensité de la force de rappel d'un ressort d'axe (O,x) est $F = k.x$ et l'énergie potentielle élastique E_{pe} du ressort est donnée par la relation :

$$E_{pe} = \frac{1}{2} k \, . \, x^2$$

Dans cette partie, on néglige les variations d'énergie potentielle de pesanteur et, dans un premier temps, on considère que l'énergie mécanique se conserve durant le mouvement. Les évolutions temporelles des énergies sont représentées sur le graphique ci-après :



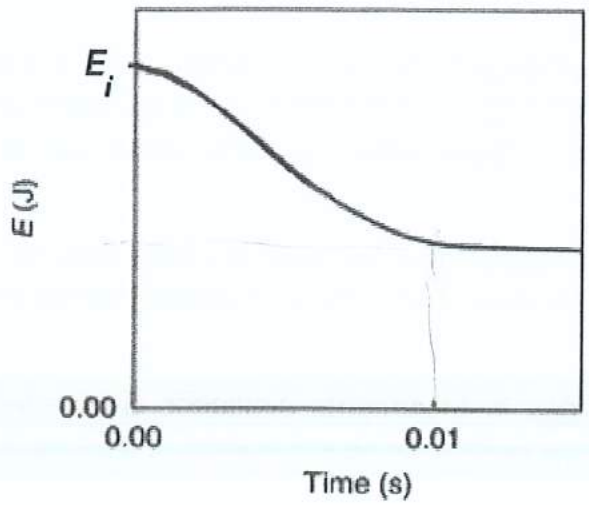
4.1. Identifier parmi les courbes (a), (b) et (c) celle qui correspond à l'énergie cinétique E_c, à l'énergie potentielle élastique E_{pe} et à l'énergie mécanique E_m. Justifier brièvement.

4.2. Calculer la valeur de l'énergie mécanique initiale que l'on note E_i.

4.3. Montrer que l'allongement maximal x_{max} (à t = 0,010 s) des filaments de byssus est de l'ordre de 1,3 cm.

4.4. En déduire la valeur maximale de la force de rappel F que le réseau de filaments de byssus devrait exercer et conclure.

En réalité, les filaments jouent aussi un rôle d'amortisseur et dissipent de l'énergie.



Évolution temporelle de l'énergie mécanique en situation réelle. *D'après Qin et Buehler, Nature Communications, Vol 4, 2013.*

4.5. Montrer que la dissipation d'énergie par le réseau de filaments de byssus permet à la moule de rester accrochée à son support malgré la tempête.

EXERCICE III. TRAITEMENT DE L'EAU D'UN PUITS (5 points)

Le fer et le manganèse sont deux éléments chimiques que l'on trouve fréquemment sous forme d'ions fer (II), Fe^{2+}, et manganèse (II), Mn^{2+}, dans les nappes phréatiques et les eaux stagnantes. Ces ions sont indispensables, à faible dose, au fonctionnement du corps humain.

Aucune toxicité n'a été remarquée pour les eaux potables très riches en ions fer (II), mais au-delà de 300 $\mu g.L^{-1}$, le fer dissous abîme les canalisations et provoque des taches de couleur rouille sur le linge.

Le manganèse présente des inconvénients similaires au fer lorsque sa concentration dépasse 150 $\mu g.L^{-1}$ (avec des taches noires sur le linge et des dépôts dans les canalisations ...).

Le but de cet exercice est d'étudier un des moyens permettant de diminuer la concentration en ions fer (II) et en ions manganèse (II) de l'eau d'un puits destinée à alimenter un lave-linge.

Données :

- Masses molaires atomiques (en $g.mol^{-1}$) : $M_{Mn} = 54,9$ $M_{Fe} = 55,8$
- À température ambiante et sous pression atmosphérique, une mole de gaz occupe un volume de $V_M = 24$ L

Extrait d'une analyse chimique de l'eau du puits

pH	Conductivité	Température	Concentration massique ($mg.L^{-1}$)			
			Ammonium	Fer (II)	Manganèse (II)	Nitrate
7,2	945 $\mu S.cm^{-1}$	15°C	2,9	3,8	1,0	7,9

Déferrisation et démanganisation d'une eau

Pour diminuer la valeur des concentrations trop élevées en ions fer (II) et manganèse (II), une des méthodes possibles est d'injecter de l'air dans l'eau à traiter : le dioxygène ainsi introduit et dissous dans l'eau va oxyder les ions fer (II) et les ions manganèse (II) pour former deux précipités solides qui pourront être retenus à l'aide d'un filtre.

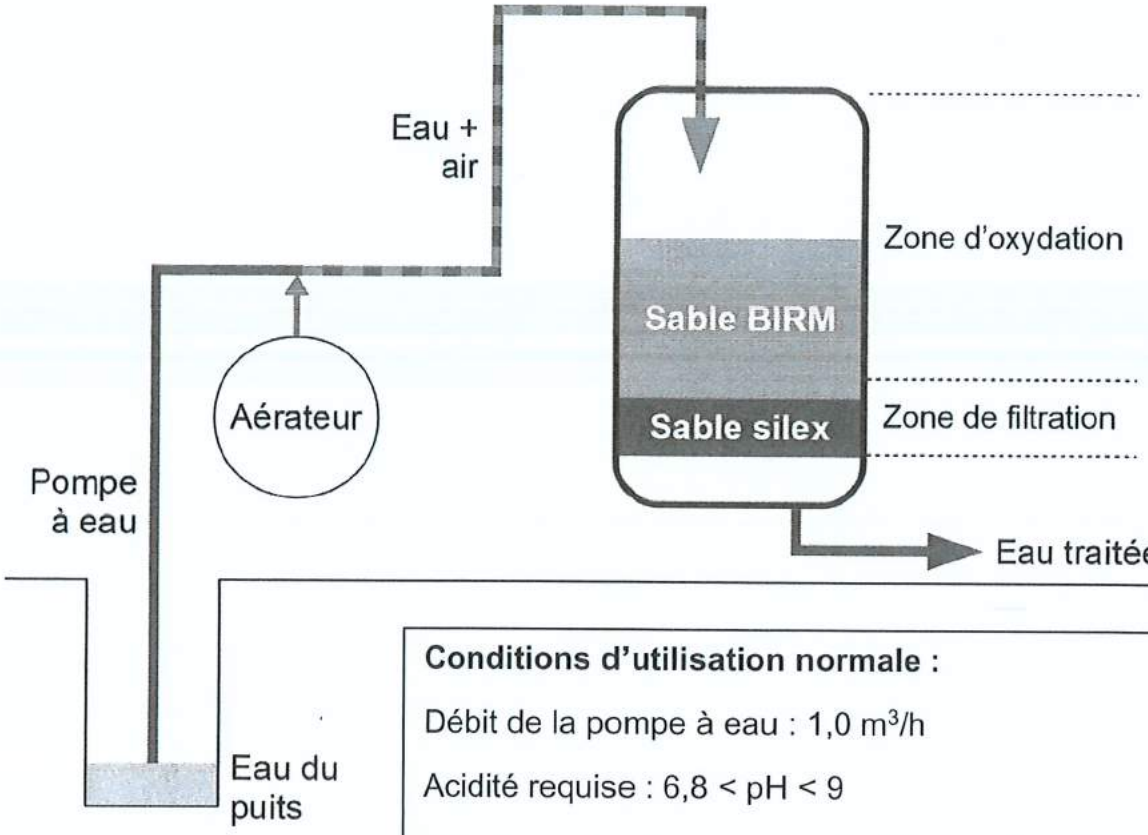
L'action du dioxygène sur les ions est modélisée par les deux réactions d'oxydo-réduction dont les équations chimiques sont les suivantes :

$$4\ Fe^{2+}_{(aq)} + O_{2\,(aq)} + 8\ HO^-_{(aq)} + 2H_2O_{(l)} \rightarrow 4\ Fe(OH)_{3\,(s)}$$

$$2\ Mn^{2+}_{(aq)} + O_{2\,(aq)} + 4\ HO^-_{(aq)} \rightarrow 2\ MnO_{2\,(s)} + 2\ H_2O_{(l)}$$

Ces deux réactions étant très lentes, un catalyseur est nécessaire afin d'accélérer le traitement.

Principe simplifié de fonctionnement et caractéristiques du *déferriseur 5750*



Conditions d'utilisation normale :

Débit de la pompe à eau : 1,0 m^3/h

Acidité requise : $6,8 < pH < 9$

Les eaux à traiter doivent présenter des concentrations massiques en ions fer (II) t_{Fe} et manganèse (II) t_{Mn} respectant la condition suivante : $t_{Fe} + 2 \times t_{Mn} < 6$ $mg.L^{-1}$

De l'air étant injecté par l'aérateur dans l'eau à traiter, des réactions d'oxydoréduction catalysées par le sable BIRM vont alors se produire entre le dioxygène dissous dans l'air et les ions Fe^{2+} et Mn^{2+} présents. Les produits solides de ces réactions sont ensuite retenus par un filtre à base de sable silex.

Le réglage du débit d'air de l'aérateur devra être effectué en tenant compte des analyses de l'eau à traiter.

D'après http://www.dynavive.eu/

Questions préliminaires

1. Justifier le fait que l'eau du puits analysée doit subir un traitement et qu'il peut se faire par le *déferriseur 5750* dans les conditions normales d'utilisation.
2. Donner une valeur approchée de la proportion en volume de dioxygène dans l'air.

Problème

Quel doit être le débit minimal d'air (exprimé en $L.h^{-1}$) de l'aérateur du *déferriseur 5750* pour que l'eau traitée puisse alimenter un lave-linge ?