

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 10 pages numérotées de 1 à 10.

L'annexe de la page 10 est à rendre avec la copie.

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

EXERCICE 1 : LA CERISE (9 points)



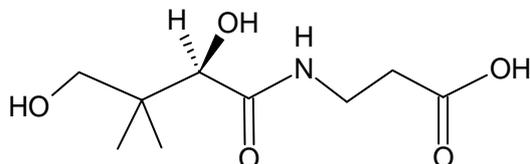
La légende raconte que durant leur migration, les oiseaux laissent tomber des noyaux tout le long de leur envolée. C'est ainsi que les cerisiers se retrouvent à l'état sauvage en France, en Europe, au Moyen-Orient et dans la région du Caucase

Le célèbre général romain Licinius Lucullus, fin gastronome, partait en campagne et en profitait pour ramener et faire découvrir l'épice rare, le fruit insolite. Vainqueur en 73 avant J.C de Mithridate VI, Lucullus est le premier à avoir rapporté en Italie « la perle rouge », la cerise d'Asie Mineure en Italie. Certains historiens parlent de Césaronte, d'autres des abords de la Mer Caspienne, une cerise plus douce que la sauvage des marchés d'Athènes et des abords du forum romain.

Source : <http://www.cerises-de-france.fr/>

Partie A : Vitamine B5

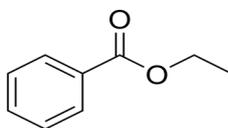
La cerise est connue pour ses nombreux apports nutritionnels. On peut notamment remarquer ces apports en vitamine et particulièrement la vitamine B5. Cette vitamine n'est autre que l'acide pantothénique dont une représentation est donnée ci-dessous.



1. Écrire la formule semi-développée de cette molécule, puis entourer les différents groupes caractéristiques présents et nommer les familles des fonctions correspondantes.
2. Déterminer si la molécule de vitamine B5 est chirale. Possède-t-elle des stéréoisomères de configuration ? Si oui, les dessiner en utilisant la représentation de Cram et indiquer la relation d'isomérisation entre ces stéréoisomères.

Partie B : Synthèse de l'arôme de cerise

La synthèse de l'arôme de cerise peut être réalisée au laboratoire par la mise en œuvre d'une réaction d'estérification. L'un des premiers à avoir étudié ce type de réaction est le chimiste français Marcelin Berthelot. L'arôme de cerise est composé d'un ester dont le nom en nomenclature officielle est le benzoate d'éthyle et dont une représentation est donnée ci-dessous.



Au laboratoire, le benzoate d'éthyle est préparé à partir de l'acide benzoïque et de l'éthanol selon la réaction d'estérification d'équation :



Le protocole mis en œuvre est le suivant :

- a) Dans un ballon de 100 mL, introduire 2,00 g d'acide benzoïque et, tout en agitant, ajouter goutte à goutte 20 mL d'éthanol puis 1 mL d'acide sulfurique concentré ;
- b) Chauffer à reflux pendant 2 h ;
- c) Évaporer l'alcool restant par distillation fractionnée ;
- d) Transvaser le liquide restant dans une ampoule à décanter contenant une solution aqueuse salée saturée ;

- e) Laver la phase organique avec 10 mL d'une solution aqueuse à 10 % d'hydrogénocarbonate de sodium ;
- f) Séparer la phase aqueuse de la phase organique, et transvaser la phase organique dans un erlenmeyer propre et sec ;
- g) Ajouter à la phase organique environ 1 g de sulfate de magnésium anhydre.

La masse d'ester obtenue est $m = 1,48$ g.

Données : caractéristiques de quelques espèces chimiques

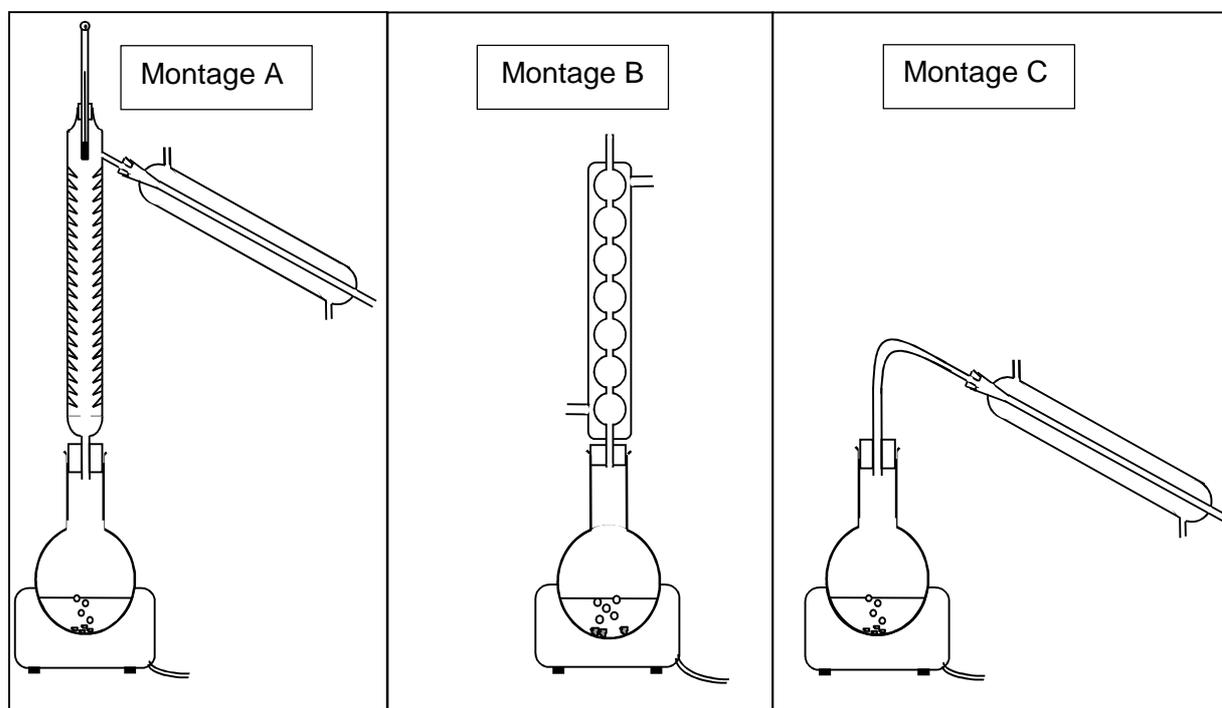
Espèce chimique	Caractéristiques	Pictogramme de sécurité
Acide benzoïque	<ul style="list-style-type: none"> - $T_{\text{ébullition}} = 122$ °C - Soluble dans l'eau et l'éthanol - Masse molaire : 122 g.mol^{-1} - Masse volumique à 25 °C : $\rho = 1,3 \text{ g.mL}^{-1}$ 	
Benzoate d'éthyle	<ul style="list-style-type: none"> - $T_{\text{ébullition}} = 212$ °C - Soluble dans l'éthanol. - Masse molaire : $150,2 \text{ g.mol}^{-1}$ 	
Éthanol	<ul style="list-style-type: none"> - $T_{\text{fusion}} = -114$ °C - $T_{\text{ébullition}} = 78$ °C - Masse volumique à 20 °C : $\rho = 0,79 \text{ g.mL}^{-1}$ - Masse molaire : $46,1 \text{ g.mol}^{-1}$ 	
Acide sulfurique à 98 %	<ul style="list-style-type: none"> - $T_{\text{fusion}} = 3$ °C - $T_{\text{ébullition}} = 337$ °C - Masse volumique à 25 °C : $\rho = 1,83 \text{ g.mL}^{-1}$ - Masse molaire : $98,1 \text{ g.mol}^{-1}$ 	

1. Réaction de synthèse du benzoate d'éthyle et mécanisme réactionnel

- 1.1 Justifier le nom donné, en nomenclature officielle, à la molécule responsable de l'arôme de cerise.
- 1.2 Représenter la formule semi-développée de l'éthanol.
- 1.3 Écrire la formule de la molécule X produite lors de la réaction d'estérification. Justifier.
- 1.4 Le mécanisme réactionnel de l'estérification est proposé **en annexe à rendre avec la copie**. Indiquer les sites accepteurs et donneurs de doublets d'électrons mis en jeu dans l'étape 1.
- 1.5 Utiliser le modèle de la flèche courbe, pour rendre compte de l'étape 1 et représenter ces flèches sur l'annexe à rendre avec la copie.
- 1.6 Identifier les étapes du mécanisme réactionnel correspondant à des réactions d'addition et d'élimination.
- 1.7 Quel rôle joue l'ion H^+ dans cette réaction ? Justifier.

2. Mise en œuvre du protocole de synthèse et identification du produit formé

- 2.1. Parmi les montages ci-dessous, choisir celui qui permet de réaliser la synthèse du benzoate d'éthyle (étape a et b). Expliquer son fonctionnement et son intérêt.
- 2.2. Parmi les montages ci-dessous, choisir celui qui permet d'éliminer l'éthanol restant (étape c). Expliquer pourquoi l'élimination de l'éthanol est possible par cette méthode.



- 2.3. Indiquer les précautions à prendre lors de la manipulation de l'acide sulfurique concentré.

Afin de caractériser l'ester formé lors de la synthèse, on réalise son spectre RMN. Les résultats obtenus sont détaillés dans le tableau ci-dessous :

Déplacement chimique δ (ppm)	8,1 à 7,4	4,4	1,4
Intégration (nombre de protons du signal)	5	2	3
multiplicité	multiplet	quadruplet	triplet

- 2.4. Montrer que les données du spectre RMN sont compatibles avec le produit formé dans la synthèse.
- 2.5. Quelle autre méthode aurait-on pu utiliser pour réaliser l'identification du produit formé ? Justifier.
- 2.6. Déterminer la valeur du rendement de la synthèse réalisée au laboratoire.
- 2.7. Proposer une ou plusieurs hypothèses pour justifier que ce rendement est inférieur à 100 %.

EXERCICE 2 : SAUT À LA PERCHE (6 points)

Le saut à la perche fait partie des épreuves olympiques depuis les premiers jeux olympiques modernes de 1896. Dans cette discipline, l'amélioration des records a souvent été liée à l'évolution du matériel. C'est en particulier avec l'apparition, dans les années 1960, des perches en fibre de verre que l'on a pu franchir la barre des 5 mètres, puis des 6 mètres. Ces perches en fibre de verre, que l'on utilise encore aujourd'hui, sont très flexibles. Cela leur permet, comme pour un ressort, d'emmagasiner de l'énergie lorsqu'elles sont déformées et de la restituer lorsqu'elles reprennent leur forme initiale.

L'objectif de cet exercice est d'étudier le mouvement d'un perchiste au cours des différentes phases de son saut : phase de prise d'élan, phase ascendante et phase descendante.

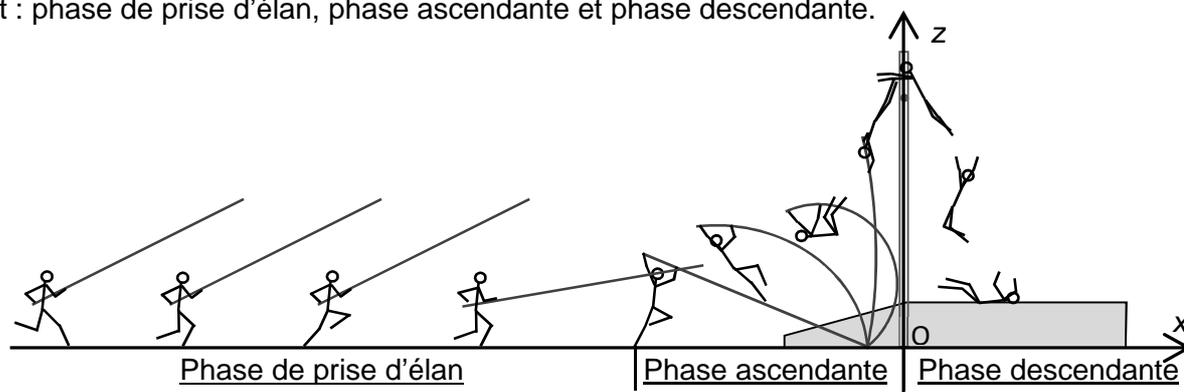


Figure 1 : Différentes phases lors d'un saut à la perche

Données :

- masse du perchiste : $m = 70 \text{ kg}$;
- intensité du champ de pesanteur : $g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$;
- hauteur du tapis de réception : $h = 0,70 \text{ m}$;
- hauteur du saut : $H = 5,4 \text{ m}$.

1. Prise d'élan

La prise d'élan se fait sur une distance d'environ 40 m. Pour le perchiste, l'objectif est de parvenir avec une vitesse maximale au moment de l'impulsion (début de la phase ascendante). Si le perchiste atteint trop rapidement sa vitesse maximale, il s'épuise et risque d'arriver au moment de l'impulsion avec une vitesse trop faible. Il doit donc gérer son effort. Pour cela, ce n'est que dans les derniers mètres, lorsqu'il approche du sautoir, qu'il rythme davantage sa course pour atteindre sa vitesse maximale.

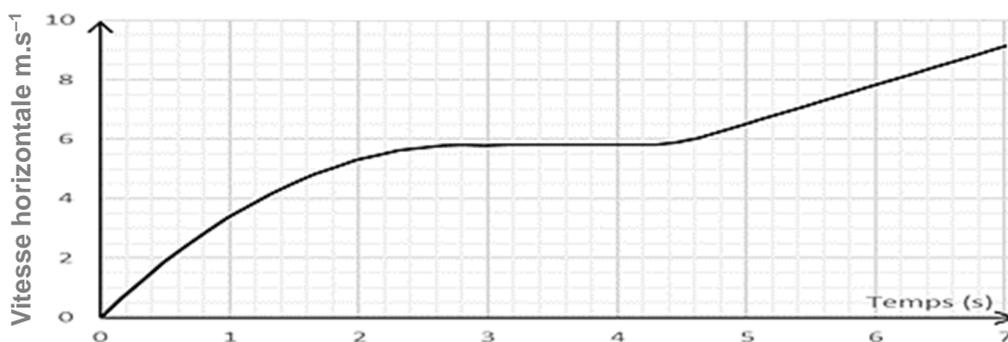


Figure 2 : Vitesse horizontale (selon l'axe (Ox)) du perchiste au cours du temps lors de la phase d'élan

- 1.1. Entre 3,0 s et 4,0 s, comment peut-on qualifier le mouvement du perchiste ? Justifier votre réponse.
- 1.2. Entre 5,5 s et 6,5 s, estimer la valeur de l'accélération du perchiste.
- 1.3. Entre 5,5 s et 6,5 s, comment peut-on qualifier le mouvement du perchiste ? Justifier votre réponse.

2. Phase ascendante

La phase ascendante est composée de trois étapes :

- Étape 1 : la flexion de la perche (la perche emmagasine de l'énergie en se déformant) ;
- Étape 2 : la déflexion de la perche (la perche restitue son énergie en reprenant sa forme initiale) ;
- Étape 3 : la « chute libre » ascendante.

La figure 3 montre l'évolution des différentes formes d'énergie du perchiste au cours de cette phase.

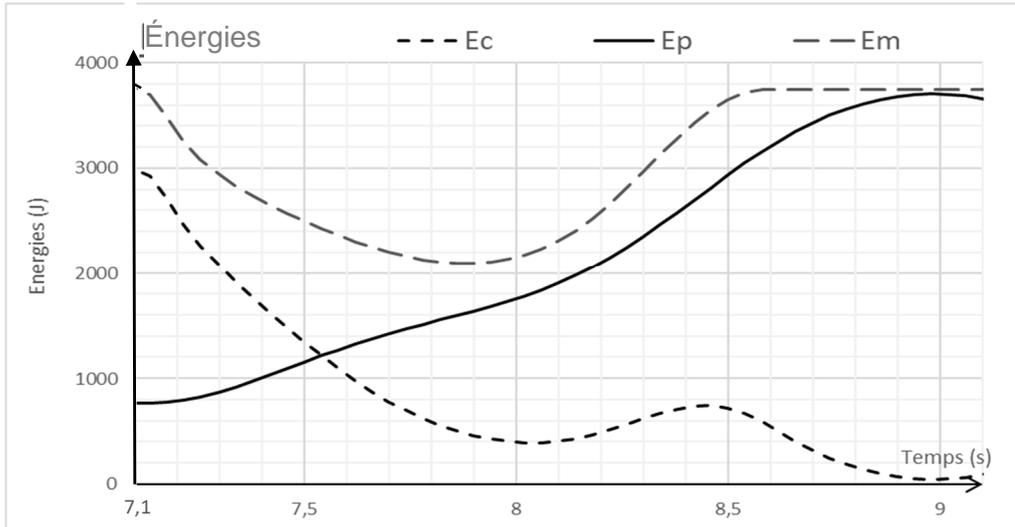


Figure 3 : Énergie mécanique E_m , énergie cinétique E_c et énergie potentielle de pesanteur E_p du perchiste au cours du temps lors de la phase ascendante

- 2.1. Déterminer, à partir des courbes d'énergies, la valeur de la vitesse à l'instant $t_1 = 7,1$ s et vérifier si cette valeur est cohérente avec celle de la vitesse à la fin de la course d'élan.

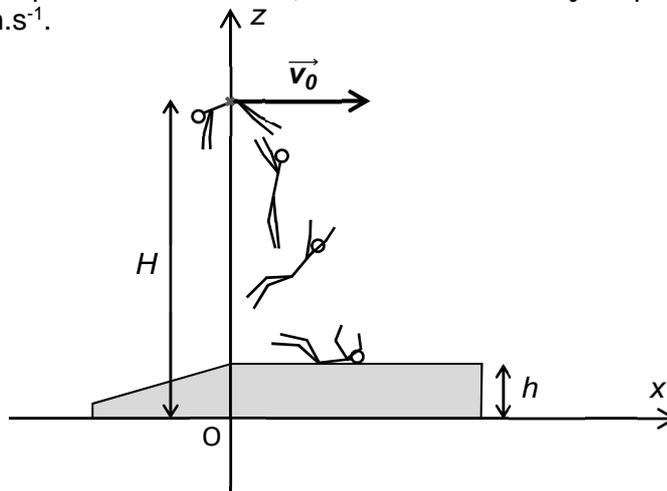
Pour simplifier l'étude on assimile le perchiste à un point matériel dans toute la suite du problème.

- 2.2. Déterminer, à partir des courbes, la valeur de la hauteur H du saut (distance entre le sol et la position la plus haute du perchiste) et comparer avec la valeur proposée dans les données.
- 2.3. Identifier, sur la figure 3, les différentes étapes de la phase ascendante, en indiquant pour chaque étape l'instant du début et de la fin de l'étape.
- 2.4. Comparer les énergies mécaniques du perchiste aux instants $t_1 = 7,1$ s et $t_2 = 9$ s. Interpréter.
- 2.5. Comment évoluerait la performance du perchiste si sa vitesse à l'instant t_1 était plus élevée ?

3. Phase descendante

La phase descendante est très spectaculaire. Elle correspond à une chute libre de plusieurs mètres.

On admet, qu'au début de la phase descendante, le vecteur vitesse \vec{v}_0 du perchiste est horizontal et que sa valeur est $v_0 = 1,1$ m.s⁻¹.



- 3.1. Énoncer la seconde loi de Newton.
- 3.2. En appliquant la seconde loi de Newton, montrer que les composantes du vecteur accélération \vec{a}_G du perchiste sont : $a_x = 0$ et $a_z = -g$.
- 3.3. En prenant le début de la phase descendante comme origine des temps ($t = 0$ s) et en se plaçant dans le repère (Oxz), montrer que les équations horaires du mouvement du perchiste s'écrivent : $x(t) = v_0 \cdot t$ et $z(t) = -\frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 + H$.
- 3.4. Quelle est la durée de la phase descendante ? Commenter le résultat.

EXERCICE 3 : RACE FOR WATER (5 points)



D'après le site raceforwater.com

Race for water est le nom donné à un navire révolutionnaire, capable de se déplacer sur de longues distances en utilisant exclusivement des énergies issues de ressources renouvelables : solaire et éolienne. Par ailleurs, l'électricité produite peut être stockée dans des batteries ou par production de dihydrogène stocké lui-même dans des bouteilles.

Pour démontrer les possibilités offertes par ces technologies innovantes, le navire *Race for water* a réalisé un tour du monde au cours de l'année 2018.

L'objectif de cet exercice est de conduire une analyse énergétique quantitative, sur une partie du voyage de ce navire.

Données :

- masse molaire moléculaire du dihydrogène : $M(\text{H}_2) = 2,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$;
- énergie : 1 Wh (wattheure) = 3 600 J ;
- au voisinage du sol, une surface horizontale de 1 m^2 reçoit de la part du Soleil une puissance moyenne égale à 500 W lors d'une journée ensoleillée – une journée ensoleillée a une durée de 12 h en moyenne ;
- besoin énergétique moyen quotidien pour l'équipage du navire (éclairage, cuisine, appareillages scientifiques, etc.) : 100 kWh.

Document 1 : Informations météo pour les 11 jours de la partie du voyage étudiée

DATE	21 mai	22 mai	23 mai	24 mai	25 mai	26 mai	27 mai	28 mai	29 mai	30 mai	31 mai
Vitesse moyenne du vent (nœud)	0	0	0	0	0	0	0	10	10	0	10
État du ciel en journée											

Document 2 : Extrait adapté d'un article de presse (P. Monnier - L'usine nouvelle - 13/03/2018)

Le 9 avril 2018, le navire ultra-moderne *Race for water* partira de Lorient (Morbihan) pour un nouveau tour du monde 100 % écologique en naviguant 24 heures sur 24. [...]

Pour l'éolien, le *Race for water* utilisera un *kite* (cerf-volant) [...] attaché au pont et entièrement automatisé une fois déployé. Le *kite* est une voile qui permet d'aller chercher le vent en altitude et de faire avancer le bateau sans utiliser les moteurs.

Le *Race for water* embarquera également un système qui fabriquera du dihydrogène. « Après deux jours ensoleillés, les batteries [initialement quasiment vides] sont pleines », détaille Alexandre Closset, le président de Swiss Hydrogen. « Nous avons donc mis en place un système qui va exploiter le surplus d'énergie solaire pour produire du dihydrogène et le stocker sur le bateau. » Lorsque les batteries du navire seront trop déchargées, ce dihydrogène servira à produire un courant électrique pour notamment recharger les batteries.

Document 3 : Infographie représentant les principaux équipements du navire

Kite de traction : avec un vent de vitesse 10 nœuds*, le *kite* peut tracter le navire à la vitesse de 3 nœuds sans utiliser les moteurs. Le système ne peut être utilisé que la journée, il reste plié durant la nuit.

Panneaux solaires : couvrant une surface de 500 m², les cellules photovoltaïques possèdent un rendement de 32 %. Elles peuvent être utilisées pour faire fonctionner les moteurs, recharger les batteries et produire du dihydrogène par électrolyse.

Pile à Combustible : En mode générateur, la pile à combustible consomme du dihydrogène pour produire de l'énergie électrique. Elle peut produire 26 Wh par mole de H₂.
En mode récepteur, il se produit une électrolyse de l'eau de mer qui conduit à la formation de dihydrogène. Une masse totale de 200 kg de ce gaz peut être stockée sous pression dans le navire.

Batteries : Les quatre batteries au lithium ont une masse totale de 2 tonnes. Chacune peut stocker jusqu'à 188,5 kWh.

Moteurs : Le navire est équipé de deux moteurs électriques. Chacun nécessite une puissance de 5 kW pour pouvoir faire avancer le navire à la vitesse de 3 nœuds. Les moteurs sont alimentés par les batteries.

* 1 nœud est égal à 1,852 km.h⁻¹

<https://www.raceforwater.org/fr/lhydrogene-et-sa-pile-a-combustible/>

Questions préliminaires

1. Montrer que, en l'absence de vent, les besoins journaliers en énergie électrique (moteurs et besoins de l'équipage) correspondent à 340 kWh.

2. Montrer que la valeur de la quantité maximale d'énergie que peut stocker le navire (sous la forme électrique dans les batteries et sous la forme chimique en lien avec le dihydrogène stocké dans les bouteilles) vaut environ 3 400 kWh.

Problème

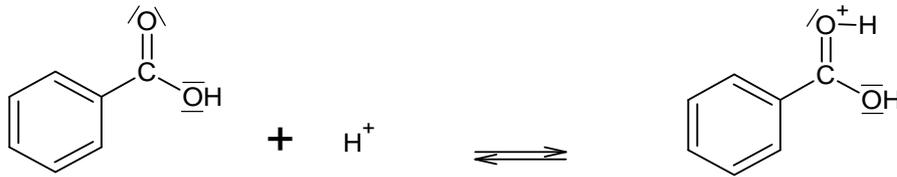
Les réserves d'énergie du navire ont-elles pu retrouver, à la fin des 11 jours de la partie du voyage étudiée, leur niveau de départ ? On suppose qu'au départ (le matin du 21 mai) le navire a stocké la quantité maximale d'énergie.

L'analyse des données ainsi que la démarche suivie seront évaluées et nécessitent d'être correctement présentées. Les calculs numériques seront menés à leur terme. Il est aussi nécessaire d'apporter un regard critique sur le résultat et de discuter de la validité des hypothèses formulées.

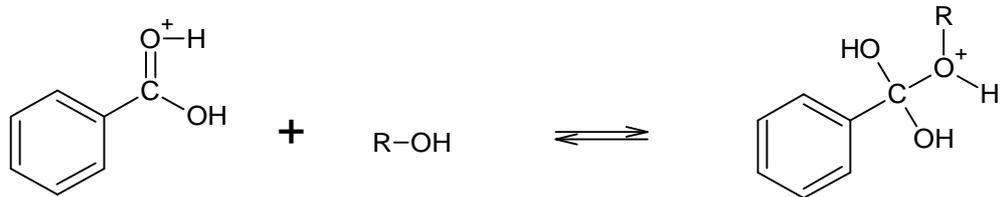
Annexe de l'exercice 1 à rendre avec la copie

Mécanisme réactionnel de l'estérification

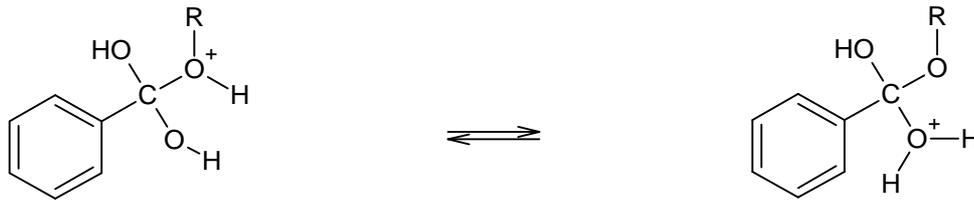
Étape (1)



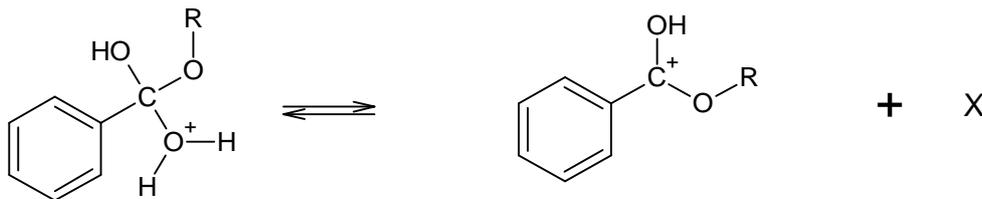
Étape (2)



Étape (3)



Étape (4)



Étape (5)

