

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

Session 2019

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

Enseignement de Spécialité

Durée de l'épreuve : 3h30 – 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.

Ce sujet comporte 11 pages numérotées de 1/11 à 11/11.

**La feuille d'annexe (page 11/11)
EST À RENDRE AGRAFÉE À LA COPIE.**

| |
|---|
| EXERCICE I : MISSION ROSETTA (10 points) |
|---|

En 2004, la sonde européenne ROSETTA a quitté la Terre pour un voyage long de 10 ans. Sa destination était la comète 67P Churyumov-Gerasimenko, dont elle s'est approchée au cours de l'année 2014. Une fois à proximité de cette dernière, ROSETTA a été mise en orbite autour de la comète et a entamé ses observations en juillet 2014. En novembre 2014, la sonde a largué PHILAE, un atterrisseur qui est venu se poser à la surface de la comète. La mission de PHILAE consiste à analyser la comète sous tous ses aspects : composition du sol, propriétés physiques, niveau d'activité...

Objectif : mieux comprendre comment notre système solaire s'est formé.

Source : CNES (Centre National d'Études Spatiales)

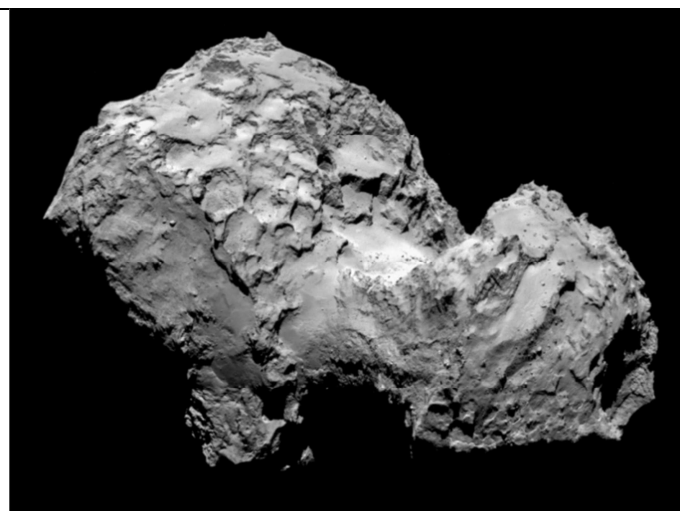
Données :

- Constante de gravitation universelle $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2.\text{kg}^{-2}$;
- Masse de la comète 67P : $M_C = 1,0 \times 10^{13} \text{ kg}$;
- Masse du système (ROSETTA + PHILAE) : $M = 3,0 \times 10^3 \text{ kg}$;
- Masse de l'atterrisseur PHILAE : $M_P = 1,0 \times 10^2 \text{ kg}$;
- Distance moyenne Terre-Soleil : 1 unité astronomique = 1 ua = $1,50 \times 10^8 \text{ km}$;
- Dans cet exercice, la comète 67P est modélisée par une sphère de rayon R égal à 2,0 km.

1. Comète 67P Churyumov-Gerasimenko :

La comète 67P Churyumov-Gerasimenko a été découverte en septembre 1969. Elle tourne sur une orbite elliptique dont le Soleil occupe l'un des foyers.

La valeur de la vitesse de la comète est variable sur son orbite elliptique ; elle varie entre 5 et 35 km.s⁻¹ environ dans le référentiel héliocentrique.



Crédits : NASA/ESA

Comète 67P Churyumov-Gerasimenko :

Année de découverte : 1969
 Découvreurs : Klim Ivanovic Churyumov et Svetlana Ivanovna Gerasimlenko

Trajectoire autour du Soleil :

- Ellipse
- Distance au plus près du Soleil (périhélie) : 1,24 ua
- Distance au plus loin du Soleil (aphélie) : 5,68 ua

Grand axe de l'ellipse : distance entre le périhélie et l'aphélie

Comète 67P vue par la caméra OSIRIS de ROSETTA le 3 août 2014.

- 1.1. Représenter la trajectoire de la comète autour du Soleil en précisant les positions du Soleil, de l'aphélie et du périhélie.
- 1.2. Expliquer, en utilisant une des lois de Kepler, pourquoi la vitesse de la comète n'est pas constante sur sa trajectoire. On complètera le schéma précédent pour expliciter la loi utilisée.
Préciser, sur ce même schéma, la position de la comète pour laquelle la valeur de sa vitesse est la plus grande. Justifier.
- 1.3. Pour tous les objets en orbite autour du Soleil, le rapport entre le carré de la période de révolution T et le cube du demi-grand axe a de l'orbite est constant : $\frac{T^2}{a^3} = k$, grandeur constante (troisième loi de Kepler).
En déduire la valeur de la période de révolution de la comète autour du Soleil en années.

2. Satellisation de ROSETTA

Dans cette deuxième partie, l'atterrisseur PHILAE est encore dans la sonde ROSETTA.

Au cours des mois d'août et septembre 2014, la sonde ROSETTA arrive à proximité de la comète et est mise en orbite autour de celle-ci sur une trajectoire que l'on considère circulaire à une altitude h de 20 km. La manœuvre est difficile du fait de la faible gravité qui règne autour de la comète et pour réussir cette satellisation, la vitesse doit être parfaitement ajustée. Une vitesse trop importante donnerait à ROSETTA une trajectoire elliptique, une vitesse trop faible conduirait à une collision de la sonde avec la comète.

Le référentiel d'étude dans cette partie est le référentiel dont l'origine est le centre de la comète et dont les trois axes pointent vers des étoiles lointaines. Ce référentiel est supposé galiléen.

- 2.1. Faire un schéma de ROSETTA en orbite autour de la comète en précisant :
 - le vecteur unitaire \vec{u} orienté de ROSETTA vers le centre de la comète ;
 - le vecteur modélisant la force d'interaction gravitationnelle exercée par la comète sur ROSETTA.
 Donner l'expression vectorielle de cette force gravitationnelle en fonction de G , M , M_C , h , R et \vec{u} .
- 2.2. Accélération de ROSETTA.
 - 2.2.1. En supposant que le poids de ROSETTA est égal à la force d'interaction gravitationnelle qu'elle subit, donner l'expression vectorielle de l'intensité de la pesanteur \vec{g} au voisinage de la comète en fonction de G , M_C , h , R et \vec{u} .
 - 2.2.2. En supposant que ROSETTA n'est soumise qu'à l'interaction gravitationnelle avec la comète 67P, établir l'expression vectorielle de l'accélération \vec{a}_R de ROSETTA en fonction de G , M_C , h , R et \vec{u} .

2.3. Vitesse et période de rotation :

2.3.1. Montrer que dans l'approximation d'un mouvement circulaire la valeur

$$v \text{ de la vitesse de ROSETTA a pour expression : } v = \sqrt{\frac{GM_c}{R+h}} .$$

2.3.2. Calculer la valeur v de la vitesse.

2.3.3. Combien de temps ROSETTA met-elle pour faire un tour complet de la comète ?

3. Chute de PHILAE

L'atterrisseur PHILAE s'est détaché de la sonde ROSETTA le 12 novembre 2014 pour effectuer une chute libre de 20 km sans vitesse initiale et se poser sur la comète. Cette descente a duré plusieurs heures.

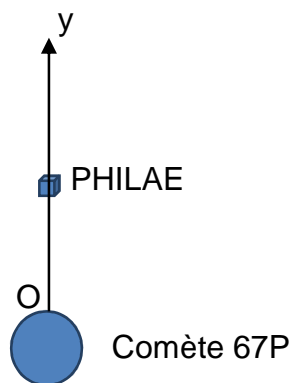
3.1. Chute libre de PHILAE

On modélise la chute de PHILAE par une chute libre, c'est-à-dire que PHILAE n'est soumis qu'à son poids.

Le référentiel d'étude est supposé galiléen.

On utilise un axe (Oy) vertical dirigé vers le haut, l'origine O étant au niveau du sol de la comète.

Le champ de pesanteur de la comète est considéré uniforme, d'intensité moyenne $g = 1,5 \times 10^{-5} \text{ m.s}^{-2}$.



3.1.1. Déterminer, dans l'ordre de votre choix, la durée de la descente et la vitesse à l'atterrissage.

3.1.2. Quelle serait, sur Terre, la hauteur de chute conduisant à cette même vitesse d'impact en prenant comme intensité de la pesanteur sur Terre $9,8 \text{ m.s}^{-2}$? Comment expliquer cette différence ?

3.1.3. En réalité, la durée de la chute est de 7 h. Dans le modèle utilisé, quelles sont les hypothèses que l'on peut discuter ? Justifier.

3.2. Largage de PHILAE.

Le système {ROSETTA + PHILAE} a une vitesse de $0,17 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ dans le référentiel de la comète. L'atterrisseur PHILAE est largué de telle sorte que sa vitesse initiale soit nulle par rapport à la comète. Le largage de PHILAE provoque une modification de la vitesse de ROSETTA.

On considère que le système {ROSETTA + PHILAE} est isolé pendant la durée du largage.

Déterminer la valeur de la vitesse v_R de la sonde ROSETTA par rapport à la comète après le largage.

EXERCICE II : L'ISOPRÈNE (5 points)

L'isoprène a été découvert en 1860 et isolé à partir de la décomposition thermique du caoutchouc naturel. Il est produit et émis dans l'atmosphère par beaucoup d'espèces d'arbres (par exemple chênes, peupliers, eucalyptus). Cette production d'isoprène semblerait être un des mécanismes développés par les forêts pour surmonter la surchauffe des feuilles ou une irradiation excessive par le rayonnement ultra-violet.

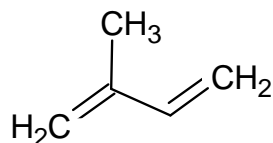
D'après le site www.societechimiquedefrance.fr/isoprene.html

Données :

- Masses molaires atomiques :
 $M(\text{C}) = 12,0 \text{ g.mol}^{-1}$; $M(\text{H}) = 1,0 \text{ g.mol}^{-1}$; $M(\text{O}) = 16,0 \text{ g.mol}^{-1}$;
- Masse volumique de la propanone : $\rho = 790 \text{ kg.m}^{-3}$.

1. L'isoprène.

L'isoprène est un hydrocarbure également appelé 2-méthylbuta-1,3-diène, dont une représentation est donnée ci-dessous.



1.1. Justifier le nom attribué à l'isoprène en nomenclature officielle et donner sa formule semi-développée.

1.2. L'un des isomères de l'isoprène, le penta-1,3-diène, a pour formule semi-développée :



Représenter, en les identifiant, les formules topologiques des deux stéréoisomères Z et E possibles du penta-1,3-diène.

1.3. Par hydrogénation catalytique de l'isoprène, on obtient le 2-méthylbutane.

1.3.1. Écrire la formule semi-développée du 2-méthylbutane.

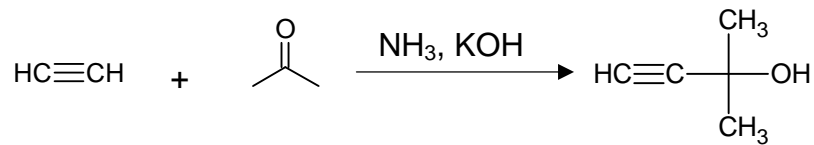
1.3.2. Indiquer, en le justifiant, le nombre de signaux attendus sur le spectre de RMN du proton du 2-méthylbutane, ainsi que la multiplicité de chaque signal.

2. Synthèse industrielle de l'isoprène.

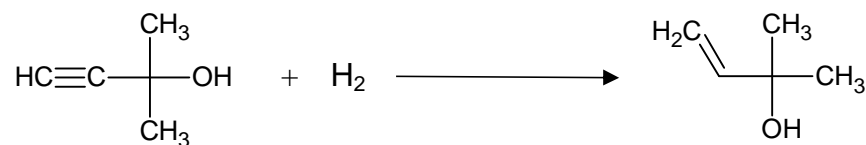
Le chimiste italien Snamprogetti a développé un processus de synthèse de l'isoprène à partir de propanone et d'éthyne. La première étape se déroule sous 20 bars entre 10 et 40 °C dans de l'ammoniac liquide avec comme catalyseur de la potasse de formule KOH.

Le produit, le 2-méthylbut-3-yne-2-ol, est ensuite hydrogéné sélectivement pour obtenir du 2-méthylbut-3-ène-2-ol. Cette espèce chimique est ensuite déshydratée à 250-300 °C en présence d'alumine Al_2O_3 sous pression atmosphérique pour donner de l'isoprène.

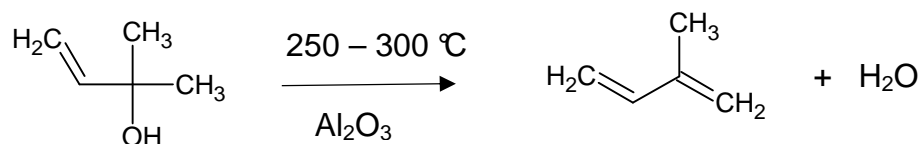
1^{ère} étape :



2^{ème} étape :



3^{ème} étape :



2.1. Réaction de synthèse de l'isoprène.

2.1.1. Indiquer, pour les étapes 2 et 3, la catégorie de la réaction.

2.1.2. Déduire de l'ensemble des étapes l'équation de la réaction de synthèse de l'isoprène.

2.2. Ce processus de synthèse a permis de produire, jusqu'en 1982, 30 000 tonnes d'isoprène par an avec un rendement de 85 %.

Déterminer le volume de propanone nécessaire à cette production annuelle sachant que la propanone est le réactif limitant.

EXERCICE III : ÉNERGIE THERMIQUE DES MERS (5 points)

L'exploitation de la différence de température entre les eaux de surface et les eaux profondes des océans et des mers permet de produire de l'énergie.

Cette technologie, appelée Énergie Thermique des Mers (ETM) ou océanothermie est particulièrement adaptée à la zone intertropicale où la variation de température est importante. Implanté en Martinique, NEMO (New Energy for Martinique and Overseas) est un projet de centrale flottante de production d'énergie thermique de puissance 10,7 MW.



Station NEMO (source : DCNS)

L'objectif de cette étude est de montrer l'intérêt environnemental de cette nouvelle technologie par rapport aux centrales thermiques à fuel.

Bilan carbone de l'ETM

L'eau pompée en profondeur lors du fonctionnement de la station ETM a une teneur en dioxyde de carbone dissous égale à $202 \times 10^{-6} \text{ mol.L}^{-1}$, plus élevée que la teneur des eaux de surface.

À la sortie de la station ETM, l'eau pompée en profondeur est rejetée en surface. Une partie du dioxyde de carbone en excès contenu dans cette eau est consommée pour produire de la matière vivante. Cette production biologique se fait grâce à la présence de sels nutritifs dissous dans l'eau, notamment les ions nitrate NO_3^- (aq) présents dans l'eau de mer. L'ordre de grandeur de la concentration molaire en ions nitrate est $10^{-5} \text{ mol.L}^{-1}$.

L'élaboration de la matière vivante s'opère en utilisant en moyenne 6,8 moles de CO_2 pour une mole d'ions nitrate.

L'excès résiduel de dioxyde de carbone est libéré dans l'atmosphère.

D'après CarbonDioxide Information Analysis Center CDIA

Dosage des ions nitrate présents en eaux profondes

Un technicien doit déterminer la concentration molaire des ions nitrate NO_3^- des eaux de mer par spectroscopie.

Pour cela, il prépare 1,00 L de solution mère S en dissolvant 160 mg de nitrate d'ammonium, de formule NH_4NO_3 , dans de l'eau distillée salée comme les eaux profondes.

À partir de cette solution mère, il obtient par dilution quatre solutions de 100 mL, notées S_1 à S_4 .

Il ajoute dix gouttes d'acide 2,4-phénoldisulfonique à chaque solution. Chacune d'elles prend une coloration jaune d'autant plus intense que la concentration en ions nitrate est grande.

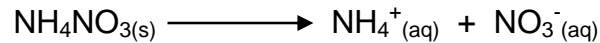
Il mesure l'absorbance des différentes solutions pour une longueur d'onde égale à 415 nm. Les résultats des mesures obtenues par le technicien sont donnés dans le tableau sur l'**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**.

Le technicien prélève, au niveau de la sortie de la station ETM, de l'eau de mer pour laquelle il veut mesurer la concentration en ions nitrate notée $S_{\text{concentrée}}$. Il chauffe

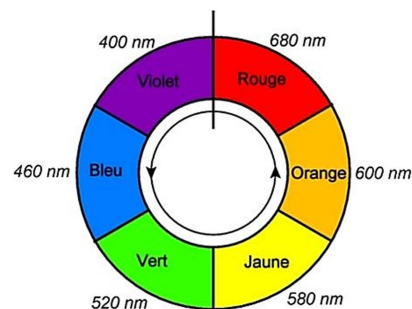
l'échantillon pour en réduire le volume d'un facteur 10. Après avoir ajouté dix gouttes d'acide 2,4-phénoldisulfonique à 100 mL de cette solution, il mesure son absorbance : $A = 0,37$.

Données :

- Masses molaires : $M(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 80,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $M(\text{CO}_2) = 44,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$
- Dissolution du nitrate d'ammonium dans l'eau :



- Relation entre puissance P (en W) et énergie E (en J) échangée pendant Δt (en s) : $E = P\Delta t$
- $1 \text{ Wh} = 3,6 \times 10^3 \text{ J}$
- Cercle chromatique :



1. Détermination de la teneur en ions nitrate des eaux profondes

1.1. Justifier le réglage du spectrophotomètre à 415 nm par le technicien pour ce dosage.

1.2. Quel est l'intérêt du chauffage de l'échantillon d'eau de mer ?

1.3. Calculer la concentration de la solution-mère et de chacune des solutions filles dont les caractéristiques sont données dans le tableau récapitulatif des résultats obtenus par le technicien, présent dans l'annexe à rendre avec la copie. Compléter les deux documents présents sur l'**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**.

Expliciter la méthode de détermination par le technicien de la concentration molaire en ions nitrate des eaux profondes pompées par la future station NEMO et vérifier que l'ordre de grandeur de la concentration en ions nitrate donnée dans le sujet est correct.

2. Intérêt environnemental de NEMO

En Martinique, l'énergie électrique est essentiellement produite par des centrales au fuel qui rejettent 890 g de dioxyde de carbone CO₂ par kWh d'énergie électrique produite.

Quelle masse de CO₂ le projet NEMO permettra-t-il d'éviter de rejeter par an si on le met en œuvre en remplacement d'une centrale thermique au fuel de même puissance que NEMO ? Commenter le résultat obtenu.

Débit volumique de la pompe de la station ETM : $D = 33 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

L'analyse des données ainsi que la démarche suivie sont évaluées et nécessitent d'être correctement présentées.

ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

EXERCICE III : ÉNERGIE THERMIQUE DES MERS

Question 1.3

Tableau récapitulatif des résultats obtenus par le technicien

| Solution | S ₁ | S ₂ | S ₃ | S ₄ |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Volume de solution fille S _i préparée (mL) | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Volume de solution mère S prélevée (mL) | 5,0 | 10 | 20 | 40 |
| Concentration molaire de la solution fille S _i (mol.L ⁻¹) | | | | |
| Absorbance | 0,14 | 0,28 | 0,55 | 1,1 |

Graphique représentant l'absorbance en fonction de la concentration molaire en ions nitrate

