BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2014

PHYSIQUE-CHIMIE

MARDI 17 JUIN 2014

Série S

DURÉE DE L'ÉPREUVE : **3 h 30** – COEFFICIENT : **6**

obligatoire

L'usage d'une calculatrice EST autorisé

Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré

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

La page d'annexe (page 12) EST À RENDRE AVEC LA COPIE, même si elle n'a pas été complétée.

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

EXERCICE I - COLLISIONS AU LHC. (6 points)

Document 1. Le boson de Higgs

« La découverte du boson de Higgs est aussi importante pour l'histoire de la pensée humaine que la loi de la gravitation universelle de Newton » s'enthousiasme Carlo Rovelli, du Centre de Physique Théorique de Marseille-Lumini. La théorie de Newton, en son temps, avait prédit l'emplacement de Neptune avant même que les astronomes ne l'observent directement. La découverte du boson de Higgs signe le triomphe de ce qu'on appelle le « modèle standard » de la physique, qui a prédit depuis quelques décennies les détails les plus infimes du monde et qui a été élaboré avec passion par les plus grands scientifiques ces cent dernières années. Grâce au Higgs (comme l'appellent familièrement les physiciens), des voies s'ouvrent, permettant d'explorer la texture de l'espace-temps ou de plonger dans les premiers moments de l'Univers. […] Le boson de Higgs est une particule qui était présente dans un passé extrêmement lointain de l'Univers, autour de 10^{-10} s après le Big Bang, à une époque où la température frisait les 10^{15} °C. Si elle a été « vue » au CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire), c'est parce que de telles énergies ont été atteintes au cœur du LHC (Large Hadron Collider ou Grand Collisionneur de Hadrons), recréant les conditions qui régnaient alors.

D'après un extrait de Sciences et Avenir N°786, août 2012

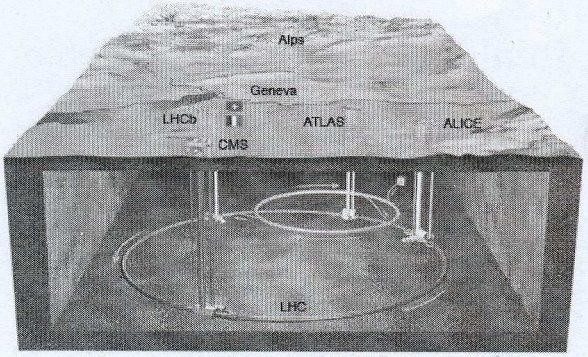
Le modèle standard arrive à décrire toutes les particules élémentaires connues et la façon dont elles interagissent les unes avec les autres. Mais notre compréhension de la nature est incomplète. En particulier, le modèle standard ne répond pas à une question simple : pourquoi la plupart des particules élémentaires ont-elles une masse ?

Les physiciens Peter Higgs, Robert Brout et François Englert ont proposé une solution à cette énigme. Leur théorie est que, juste après le Big Bang, aucune particule n'avait de masse. Lorsque l'Univers a refroidi et que la température est tombée en-dessous d'un seuil critique, un champ de force invisible appelé "champ de Higgs" s'est formé en même temps que le boson de Higgs, particule qui lui est associée. L'interaction avec ce champ répandu partout dans le cosmos permet aux particules d'acquérir une masse par l'intermédiaire du boson de Higgs. Plus les particules interagissent avec le champ de Higgs, plus elles deviennent lourdes. Au contraire, les particules qui n'interagissent pas avec ce champ ne possèdent aucune masse.

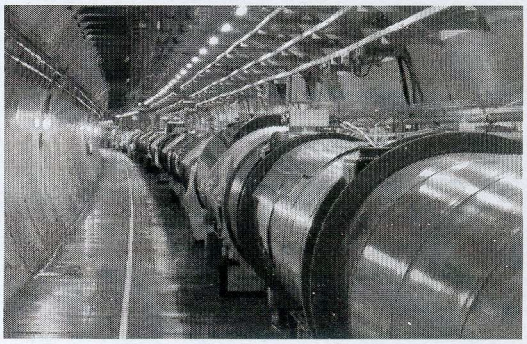
D'après un texte de Michel Spiro, chercheur au CNRS et président du conseil du CERN

Document 2. Le LHC

Le LHC est une boucle souterraine accélératrice de particules. Sa circonférence est de 26 659 m. Il y règne un intense champ électromagnétique accélérant des paquets de particules chargées positivement, par exemple des protons ou des ions plomb.



Le LHC sous la frontière franco-suisse



Vue intérieure du LHC

On fait circuler des paquets d'ions dans les deux sens. Ils entrent en collision frontale à une vitesse proche de celle de la lumière dans le vide : cette collision produit des bosons de Higgs. Leur durée de vie étant très brève, ils se désintègrent immédiatement en une multitude de particules. Ce sont ces particules qu'on détecte par l'expérience. Entre 2008 et 2011, 400 000 milliards de collisions ont été enregistrées. Une particule d'énergie de masse au repos d'environ 125 GeV a été détectée, avec un degré de confiance de 99,999 97 % : le boson de Higgs !

D'après le Guide du LHC édité par le CERN

Document 3. Vitesse et énergie dans le LHC

Les protons pénètrent dans le LHC à une vitesse v_0 égale à 0,999 997 828 fois la célérité de la lumière dans le vide, notée c. Ils ont alors une énergie cinétique de 450 GeV. Au maximum, les protons pourront atteindre la vitesse v_1 égale à 0,999 999 991×c. Leur énergie cinétique sera environ multipliée par 15.

En permanence, il circule simultanément 2 808 paquets contenant chacun 110 milliards de protons, générant jusqu'à 600 millions de collisions par seconde.

D'après le Guide du LHC édité par le CERN

Dans cet exercice, on se propose d'étudier des modèles théoriques de la physique contemporaine qui ont été utilisés au LHC.

Données :

- Masse d'un proton $m_p = 1{,}672\,621 \times 10^{-27}$ kg ;
- Célérité de la lumière dans le vide $c = 299\,792\,458$ m.s^{-1} ;
- 1 eV = $1{,}60 \times 10^{-19}$ J ;
- 1 TeV = 10^3 GeV = 10^{12} eV ;
- Énergie de masse au repos d'une particule de masse m : $E_m = m.c^2$;
- Masse d'une rame de TGV : m_{TGV} = 444 tonnes ;
- Facteur de Lorentz $\gamma = \dfrac{1}{\sqrt{1-\dfrac{v^2}{c^2}}}$ avec v vitesse de la particule dans le référentiel du laboratoire ;
- La durée de vie ΔT d'une particule animée d'une vitesse v, mesurée dans le référentiel du laboratoire, est liée à sa durée de vie propre ΔT_0 : $\Delta T = \gamma.\Delta T_0$.

1. À propos du boson de Higgs

1.1. En quoi l'observation du boson de Higgs permet-elle de compléter la théorie du modèle standard ?

1.2. À quelle période de l'Univers l'observation du boson de Higgs nous ramène-t-elle ?

2. Apport de la relativité restreinte

Dans le cadre de la mécanique dite relativiste, l'énergie cinétique d'un proton vaut : $E_c = (\gamma - 1)m_p.c^2$.

2.1. Si la vitesse v d'un proton tend vers la célérité de la lumière, vers quelle limite tend son énergie cinétique ?

2.2. Vérifier que l'énergie cinétique E_c d'un proton a été multipliée dans les proportions indiquées dans le Guide du LHC.

2.3. L'énergie totale d'un proton E_{totale} est égale à la somme de son énergie cinétique et de son énergie de masse au repos. Donner l'expression de l'énergie totale d'un proton. Vérifier numériquement que l'énergie totale d'un proton du LHC est pratiquement égale à son énergie cinétique.

3. Une manipulation à haute énergie

On peut assimiler l'énergie de collision entre deux protons, $E_{collision}$, à la somme des énergies cinétiques des deux protons lancés à pleine vitesse en sens inverse. On doit obtenir au LHC une énergie de collision de 14,0 TeV, considérée comme phénoménale.

3.1. Vérifier que l'énergie de collision entre deux protons lancés à pleine énergie en sens opposés vaut $E_{collision}$ = 14,0 TeV.

3.2. Chaque proton, lancé à vitesse maximale, possède une énergie totale de 7,00 TeV. Comparer l'énergie de l'ensemble des protons circulant simultanément dans le LHC avec l'énergie cinétique d'une rame de TGV lancée à pleine vitesse. *Le candidat sera amené à proposer un ordre de grandeur de la vitesse d'un TGV.* Commenter le résultat obtenu.

4. Quelle durée de vie au LHC ?

Une des particules émises lors des collisions entre les protons est le méson B. Sa durée de vie propre est $\Delta T_0 = 1{,}5 \times 10^{-12}$ s. Un détecteur, le VELO (VErtex LOcator), repère les mésons B produits.

4.1. Dans quel référentiel la durée de vie propre du méson B est-elle définie ?

4.2. On se place dans le référentiel du laboratoire supposé galiléen. Le détecteur VELO mesure une distance moyenne de parcours du méson B : d = 1,0 cm avant sa disparition.
On fait l'hypothèse que le méson B se déplace à une vitesse pratiquement égale à c. Calculer la valeur de la durée de vie ΔT du méson B mesurée dans le référentiel du laboratoire. Montrer alors que l'hypothèse faite est justifiée.

EXERCICE II - D'UNE ODEUR ÂCRE À UNE ODEUR FRUITÉE (9 POINTS)

Les esters ont souvent une odeur agréable. On les trouve naturellement dans les fruits dont ils sont souvent responsables de l'arôme. La parfumerie et l'industrie alimentaire utilisent aussi les esters et les obtiennent par extraction ou par synthèse.

Ester	Odeur
méthanoate d'éthyle	fruitée
méthanoate de butyle	fruitée
éthanoate de méthyle	fruitée
éthanoate de propyle	poire

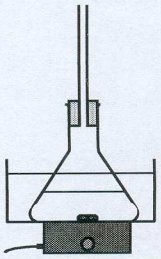
Ester	Odeur
éthanoate de butyle	pomme
éthanoate d'octyle	orange
propanoate d'éthyle	fraise
butanoate d'éthyle	ananas

De tous temps, certains « nez » éduqués ont été capables de distinguer des odeurs très voisines et d'identifier ainsi des esters. De nos jours, les espèces organiques peuvent être identifiées par des méthodes spectroscopiques (infrarouge, résonance magnétique nucléaire, etc.).

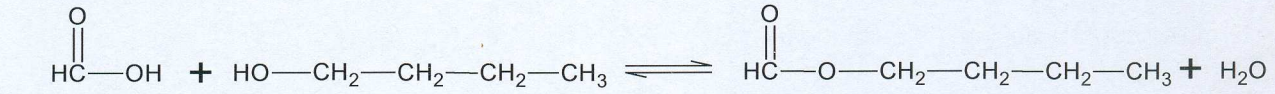
Il est relativement aisé de passer d'un produit ayant une odeur âcre, comme l'acide formique, à l'odeur fruitée d'un ester. C'est ce qu'illustre le protocole décrit ci-après de la synthèse du méthanoate de butyle à partir de l'acide formique.

Protocole

Préparer un bain-marie à une température d'environ 50 °C. Sous la hotte, verser dans un erlenmeyer 7,5 mL d'acide formique, puis 18,0 mL de butan-1-ol, ajouter 3 gouttes d'acide sulfurique concentré. Surmonter l'erlenmeyer contenant le mélange d'un réfrigérant à air, le placer dans le bain-marie et assurer une agitation douce.



L'équation de la réaction de synthèse est :



acide formique — butan-1-ol — méthanoate de butyle — eau

On se propose d'étudier les caractéristiques de la synthèse du méthanoate de butyle à partir de l'acide formique puis d'identifier des esters.

Le candidat utilisera ses connaissances ainsi que les informations fournies en pages 7, 8 et 9.

1. Réaction de synthèse du méthanoate de butyle et son mécanisme

1.1. Quel est le nom en nomenclature officielle de l'acide formique ? acide méthanoïque

1.2. Recopier l'équation de la réaction de synthèse étudiée en utilisant une écriture topologique. Encadrer les groupes caractéristiques et nommer les fonctions correspondantes.

1.3. Décrire la modélisation de l'étape (a) du mécanisme réactionnel dans le **document 1**.

1.4. Après avoir recopié les étapes (c) et (e), compléter chaque étape à l'aide des flèches courbes nécessaires. Pour chacun des cas, indiquer s'il s'agit d'une formation ou d'une rupture d'une liaison.

1.5. Comment peut-on expliquer l'existence des charges positives portées par les atomes d'oxygène et de carbone dans l'étape (e) ?

2. Optimisation du protocole de synthèse

2.1. Le mélange de réactifs dans le protocole décrit est-il stœchiométrique ? Justifier.

2.2. Identifier dans le **document 2**, la courbe correspondant au protocole décrit. Justifier.

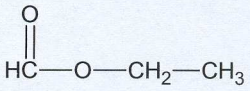
2.3. Déterminer le rendement de la synthèse dans le cas de ce protocole.

2.4. Effectuer une analyse détaillée de l'influence des conditions expérimentales sur la synthèse du méthanoate de butyle.

2.5. Présenter les conditions optimales de la synthèse du méthanoate de butyle et les justifier.

3. Identification d'esters

La distinction des esters par l'odeur peut être incertaine, en particulier dans le cas du méthanoate d'éthyle et de l'éthanoate de méthyle.

La formule semi-développée du méthanoate d'éthyle est : 

3.1. Indiquer la formule semi-développée de l'éthanoate de méthyle.

3.2. La spectroscopie IR permet-elle de distinguer l'éthanoate de méthyle du méthanoate d'éthyle ? Justifier.

3.3. Associer chacun des spectres du **document 3** à l'ester correspondant. Justifier.

DOCUMENTS DE L'EXERCICE II

Données :

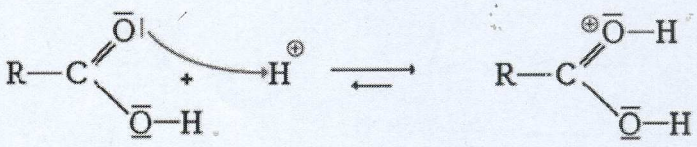
- masse molaire moléculaire et densité :

Espèce chimique	Masse molaire moléculaire ($g.mol^{-1}$)	Densité
acide formique	46,0	1,22
butan-1-ol	74,0	0,81

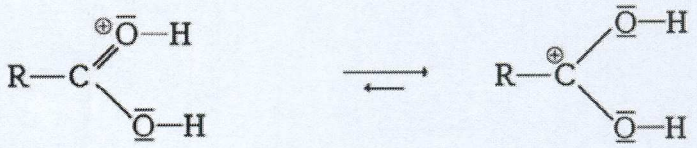
- masse volumique de l'eau : ρ_{eau} = 1,0 $g.mL^{-1}$;
- numéros atomiques Z(C) = 6 ; Z(O) = 8.

Document 1. Mécanisme réactionnel de la synthèse du méthanoate de butyle

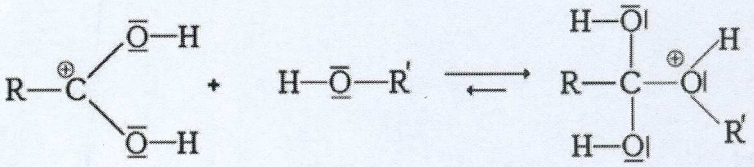
Étape (a) :



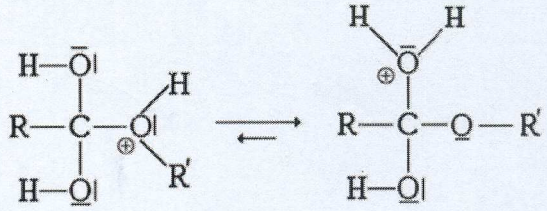
Étape (b) :



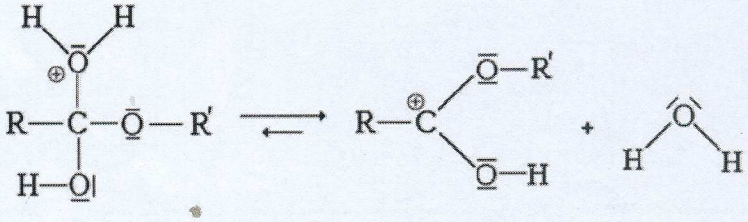
Étape (c) :



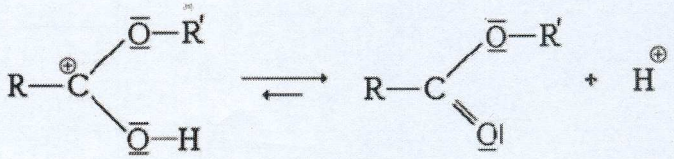
Étape (d) :



Étape (e) :



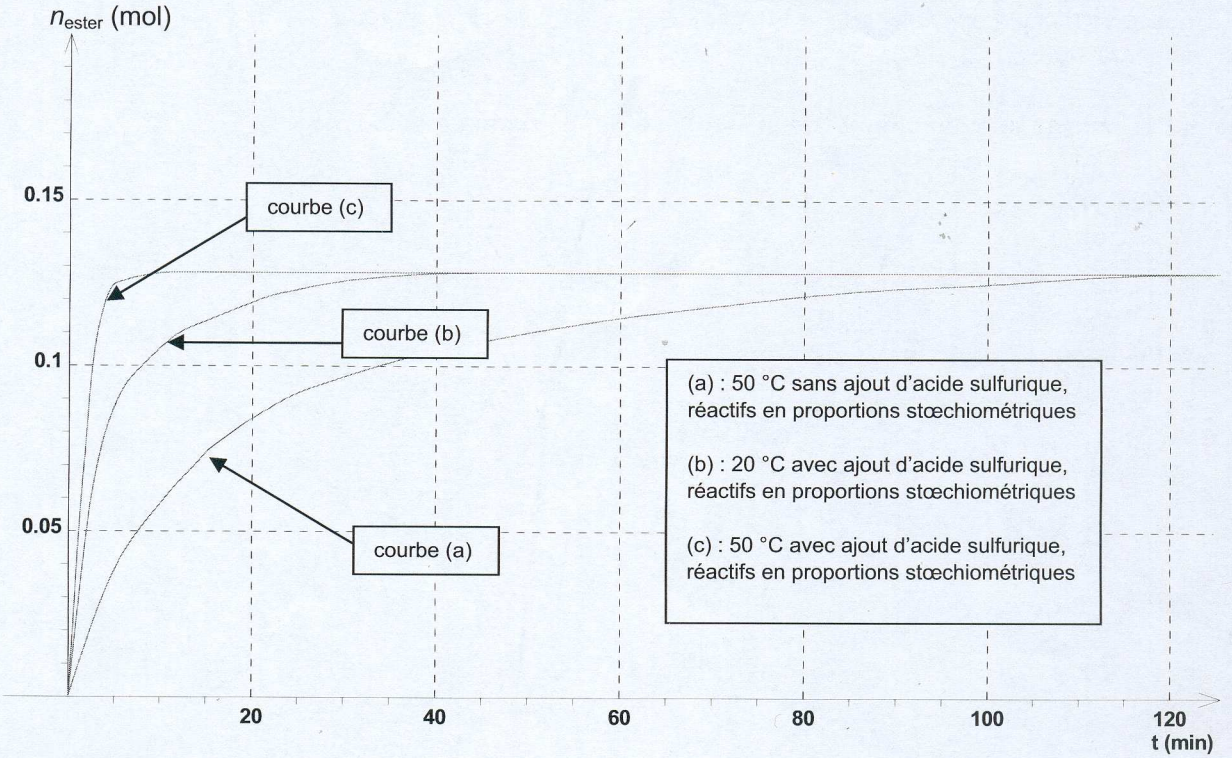
Étape (f) :



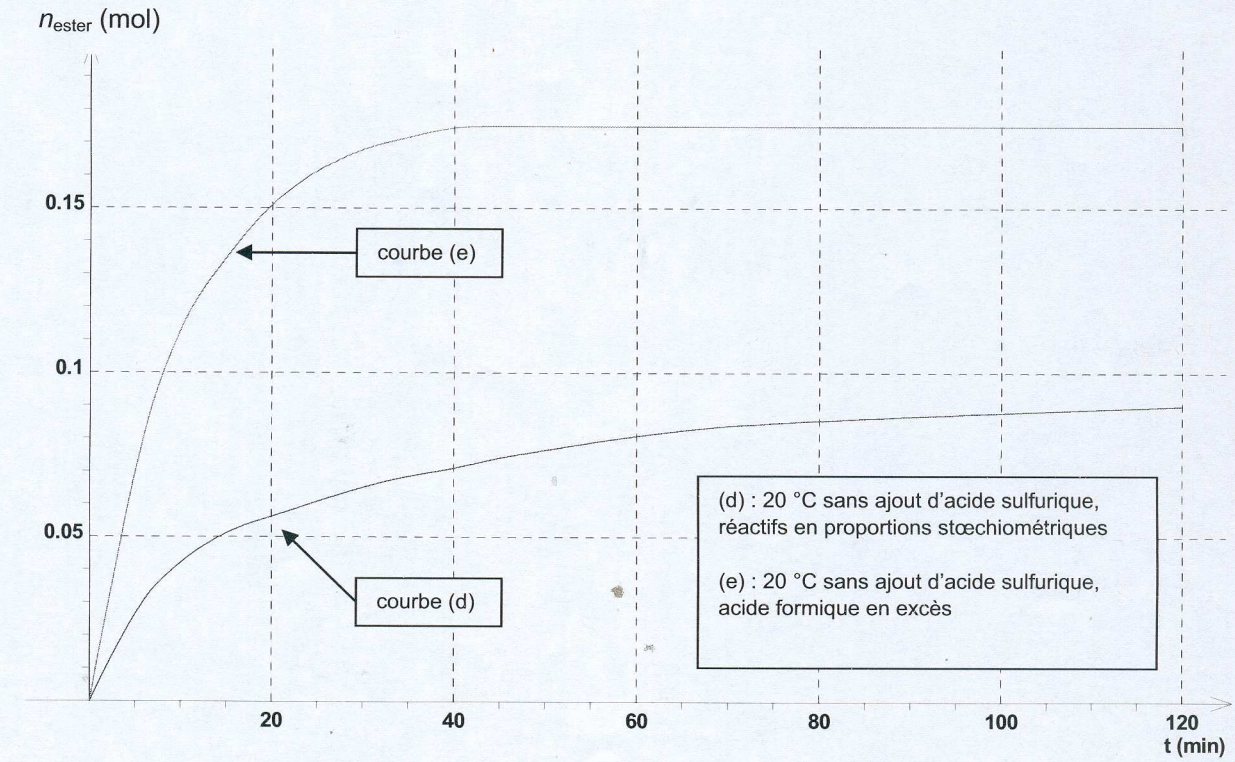
Document 2. Etude expérimentale de la synthèse du méthanoate de butyle

Pour optimiser cette synthèse, des études expérimentales sont menées dans différentes conditions. La quantité initiale de butan-1-ol utilisée est celle du protocole. Les résultats sont représentés par les graphiques ci-dessous.

Document 2.a.

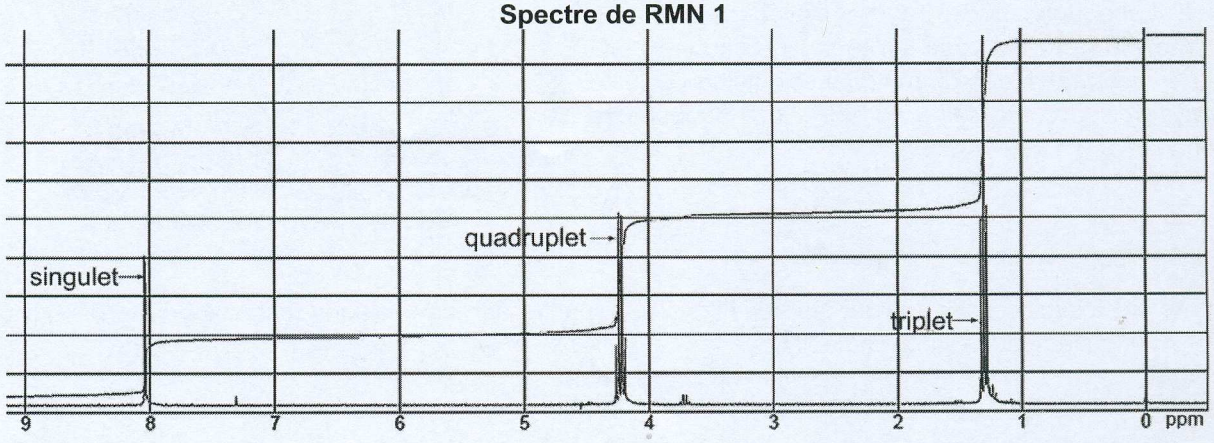


Document 2.b.

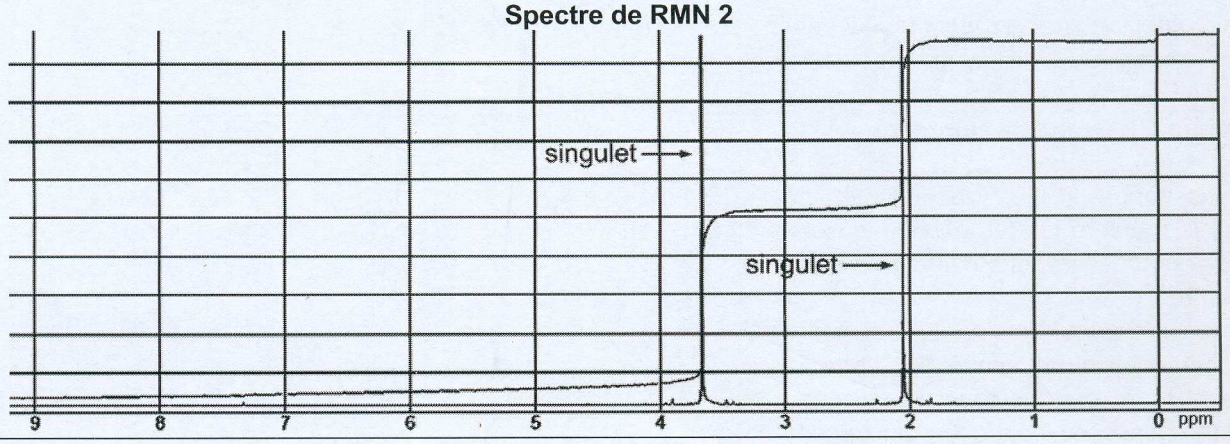


Document 3. Spectres de RMN du proton de l'éthanoate de méthyle et du méthanoate d'éthyle

Spectre de RMN 1



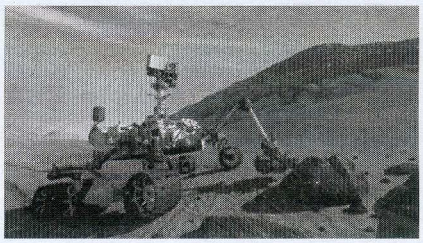
Spectre de RMN 2



EXERCICE III - VOYAGE INTERPLANETAIRE (5 points)

La mission Mars Science Laboratory

Le lancement du robot Curiosity de la mission Mars Science Laboratory (MSL) a eu lieu le samedi 26 novembre 2011. Il s'est posé sur le sol martien le 6 août 2012. Ce robot transporte du matériel scientifique destiné à l'analyse de la composition du sol et de l'atmosphère martienne.



Vue d'artiste du robot Curiosity

Le but de cet exercice est d'évaluer les conditions à respecter sur les positions relatives de la Terre et de Mars lors du lancement du robot Curiosity.

Données :

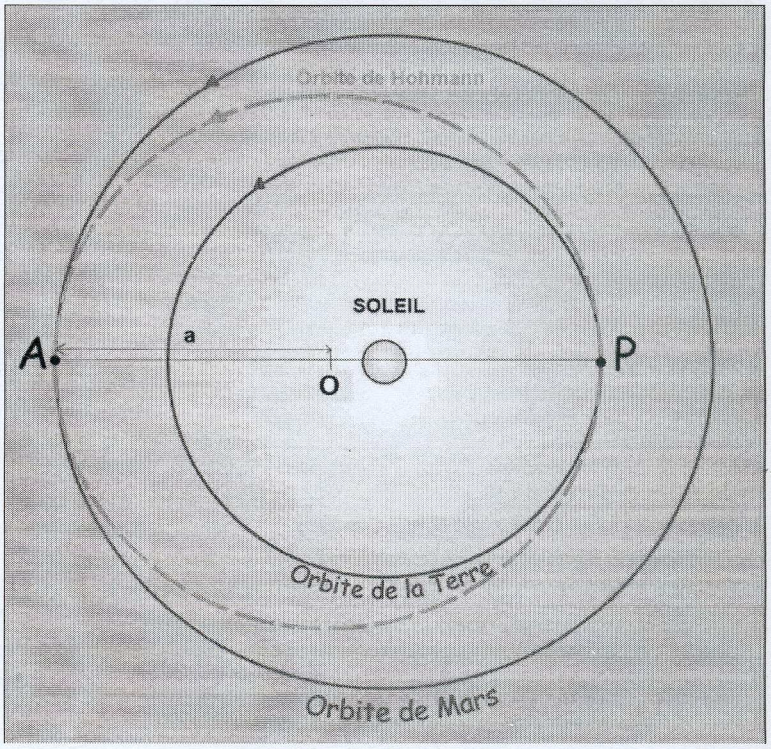
- distance Soleil-Terre : $R_1 = 1{,}50 \times 10^8$ km ;
- distance Soleil-Mars : $R_2 = 2{,}28 \times 10^8$ km ;
- période de révolution de Mars autour du Soleil : 1,88 an ;
- constante de gravitation universelle : $G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ $m^3.kg^{-1}.s^{-2}$;
- masse du Soleil $M_S = 1{,}99 \times 10^{30}$ kg.

Document 1. Orbite de Hohmann

Dès les années 1920, Walter Hohmann étudie la manière la plus économique en énergie pour se rendre d'une planète à une autre.

Pour un voyage interplanétaire entre la Terre et Mars, la trajectoire du vaisseau est une ellipse de centre O. On appelle cette ellipse de demi grand axe *a* l'orbite de Hohmann. Le périhélie P (point le plus proche du Soleil) est sur l'orbite de la Terre et l'aphélie A (point le plus éloigné du Soleil) sur celle de Mars. Pour simplifier, les orbites de Mars et de la Terre autour du Soleil sont considérées comme circulaires et contenues dans le même plan.

Pour que ce voyage interplanétaire soit réussi, il faut d'abord que le vaisseau échappe à l'attraction de la Terre, puis qu'il utilise l'attraction du Soleil pour rejoindre le voisinage de Mars en empruntant une orbite de transfert, dite orbite de Hohmann. Dans l'étape finale c'est l'interaction gravitationnelle avec Mars qui doit être prépondérante pour que Curiosity puisse se poser sur son sol.



Orbite de Hohmann

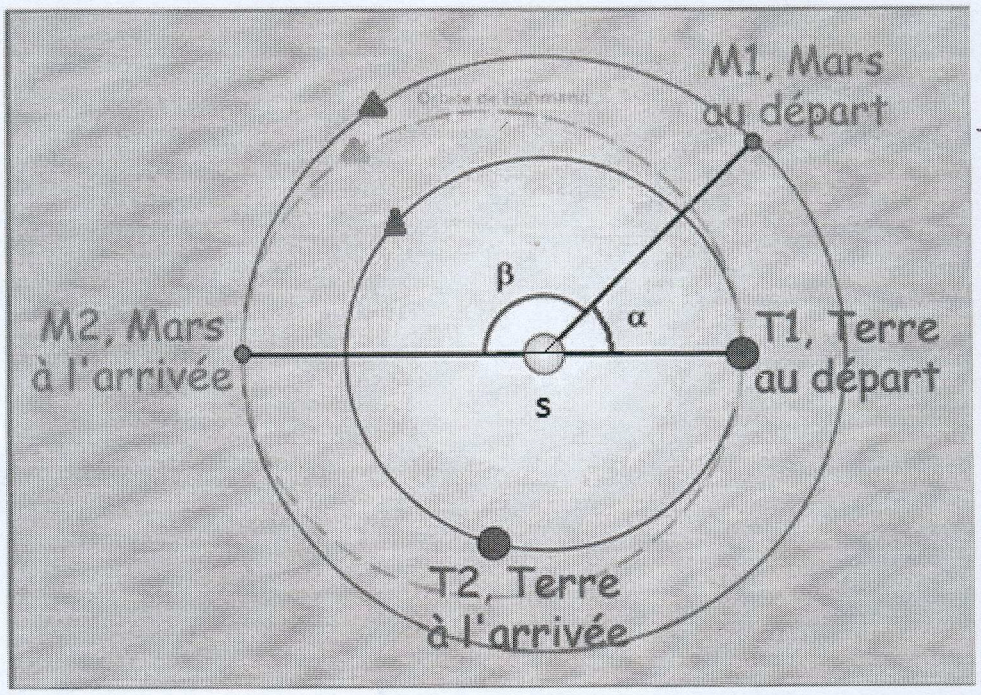
Document 2. Conditions de rencontre entre Curiosity et Mars

La figure ci-dessous donne les positions de la Terre et de Mars au moment du départ et de l'arrivée de Curiosity.

Mars accomplit une orbite complète de 360° en 1,88 an.

On suppose que les deux planètes décrivent un mouvement circulaire et uniforme pendant le temps du voyage. On lance le vaisseau de la Terre lorsque Mars se trouve au point M1 sur son orbite, position initiale repérée par l'angle α représenté ci-dessous. Le point M2 représente le lieu de rendez-vous entre le vaisseau et Mars.

On note β l'angle $\overset{\frown}{(SM1, SM2)}$.



1,88 ans -

d'après http://acces.ens-lyon.fr

1. Indiquer les différentes phases du voyage de la mission MSL ?

2. Sur le schéma en **annexe page 12** repasser en couleur le chemin suivi par MSL et indiquer les distances R_1 et R_2 introduites dans les données. Montrer que la valeur du demi-grand-axe de l'orbite de Hohmann est $a = 1{,}89 \times 10^8$ km.

3. La troisième loi de Kepler permet d'écrire $\frac{T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{GM_S}$ où a est le demi grand axe de l'ellipse, T la période pour parcourir la totalité de l'ellipse, G la constante de gravitation universelle et M_S la masse du Soleil.

3.1. Exprimer la durée Δt du voyage de Curiosity en fonction de a, G et M_S et vérifier l'homogénéité de cette relation par une analyse dimensionnelle.

3.2. Calculer la durée Δt. Commenter le résultat obtenu par rapport à la durée de la mission.

4. Déterminer la valeur de l'angle α qui repère la position de Mars au départ, condition nécessaire à la réussite de la mission.

Le candidat est invité à noter ses pistes de recherche. La démarche suivie est évaluée et nécessite d'être correctement présentée.

ANNEXE A RENDRE AVEC LA COPIE

Schéma à compléter :

