

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S
ENSEIGNEMENT OBLIGATOIRE

Durée de l'épreuve : 3 h 30

L'usage de la calculatrice est autorisé

Ce sujet nécessite une feuille de papier millimétrée.

Ce sujet comporte 3 exercices présentés sur 10 pages numérotées de 1 à 10 y compris celle-ci.

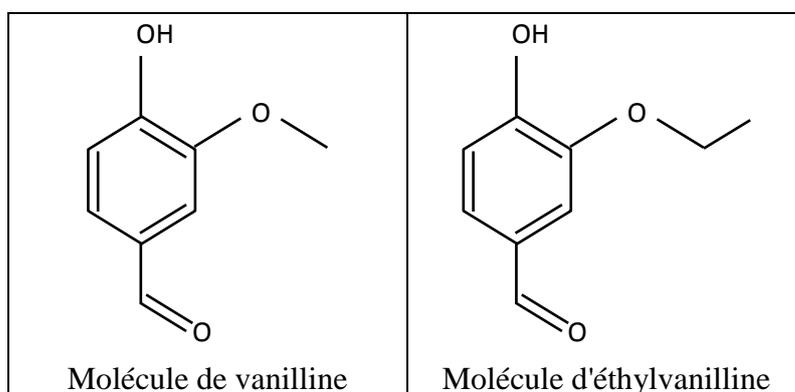
- 1- L'ARÔME DE VANILLE (7 POINTS)
- 2- LE PISTOLET LANCE-FUSEE (7 POINTS)
- 3- COLLISIONS AU LHC (6 POINTS)

EXERCICE 1. L'ARÔME DE VANILLE (7 points)

La vanille est le fruit d'une orchidée grimpante, le vanillier, qui a besoin d'un climat tropical chaud et humide pour se développer. On la cultive à Madagascar, à Tahiti, à La Réunion, en Amérique du Sud...

Elle est utilisée dans de nombreux domaines comme par exemple la parfumerie, l'industrie agro-alimentaire, en tant qu'intermédiaire de synthèse dans l'industrie pharmaceutique.

La composition de la gousse de vanille est très riche en arômes dont le principal est la vanilline. Du fait de son coût d'extraction élevé, on lui préfère souvent aujourd'hui la vanilline de synthèse ou encore l'éthylvanilline qui a un pouvoir aromatisant 2 à 4 fois plus grand.



1. À propos de la molécule de vanilline.

1.1. La molécule de vanilline possède-t-elle un carbone asymétrique ? Justifier la réponse.

1.2. La molécule de vanilline possède plusieurs groupes caractéristiques.

Après avoir recopié la formule de la molécule sur votre copie, entourer et nommer deux d'entre eux.

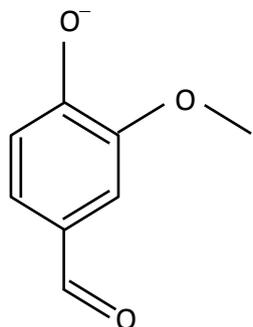
1.3. Indiquer en justifiant brièvement si les propositions suivantes sont vraies ou fausses :

Proposition a : les molécules de vanilline et d'éthylvanilline sont isomères.

Proposition b : les molécules de vanilline et d'éthylvanilline sont chirales.

2. Dosage spectrophotométrique de la vanilline contenue dans un extrait de vanille acheté dans le commerce

Principe du dosage



La vanilline contenue dans un échantillon du commerce (solution aqueuse sucrée) est extraite par du dichlorométhane.

Un traitement basique à l'aide d'une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium ($\text{Na}^+_{(\text{aq})} + \text{HO}^-_{(\text{aq})}$) permet ensuite de faire repasser la vanilline en solution aqueuse sous forme d'ion phénolate représenté ci-contre.

On réalise ensuite un dosage par étalonnage de cet ion par spectrophotométrie UV-visible afin de déterminer la concentration en vanilline de l'échantillon du commerce.

Protocole du dosage

Etape 1 : Extraction de la vanilline et passage en solution basique

- À 1,0 mL d'échantillon de vanille liquide, on ajoute 10 mL d'eau distillée.
- On procède à trois extractions successives en utilisant à chaque fois 20 mL de dichlorométhane.
- À partir de la phase organique, on extrait trois fois la vanilline avec 50 mL d'une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium de concentration $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$.
- On rassemble les phases aqueuses.

Etape 2 : Préparation de la solution à doser et mesure de son absorbance

On introduit les phases aqueuses précédentes dans une fiole jaugée de 250 mL et on complète jusqu'au trait de jauge avec la solution aqueuse d'hydroxyde de sodium de concentration $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$.

La mesure de l'absorbance de la solution à doser donne $A = 0,88$.

Etape 3 : Préparation d'une gamme étalon de solutions de vanilline basique et mesure de leur absorbance

À partir d'une solution mère de vanilline, on prépare par dilution dans une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium de concentration $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$ des solutions filles et on mesure leur absorbance.

Les résultats sont rassemblés dans le tableau ci-dessous :

Solution fille	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅
Concentration en vanilline (mol.L^{-1})	$5,0 \times 10^{-5}$	$4,0 \times 10^{-5}$	$3,0 \times 10^{-5}$	$2,0 \times 10^{-5}$	$1,0 \times 10^{-5}$
Absorbance	1,36	1,08	0,81	0,54	0,27

Données :

- **Couples acido-basiques de l'eau :** $H_3O^+_{(aq)}/H_2O_{(l)}$ et $H_2O_{(l)}/HO^-_{(aq)}$

- **Dichlorométhane CH_2Cl_2 :** densité $d = 1,33$; non miscible à l'eau.

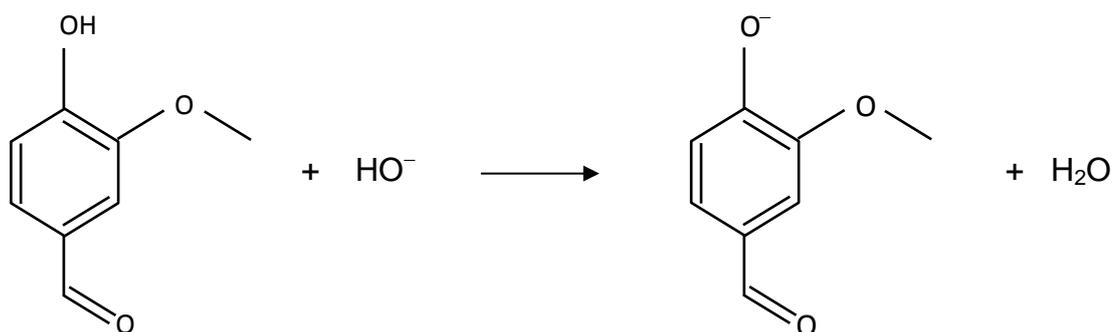
- **Vanilline $C_8H_8O_3$:**

• **Solubilité :** soluble dans la plupart des solvants organiques, très peu soluble dans l'eau.

• **Masse molaire moléculaire :** $M_{vanilline} = 152 \text{ g.mol}^{-1}$.

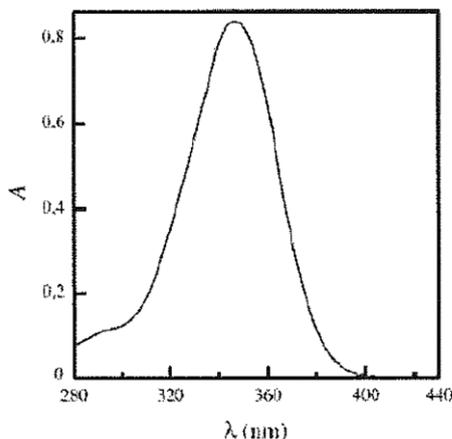
- **Deux doubles liaisons entre des atomes sont dites conjuguées si elles ne sont séparées que par une liaison simple**

2.1. L'équation de réaction de la vanilline avec les ions hydroxyde de la solution d'hydroxyde sodium s'écrit :



Dans la théorie de Brönsted, la vanilline est-elle un acide ou une base ? Expliquer la réponse.

2.2. Le spectre d'absorption UV-visible de l'ion phénolate est donné ci-dessous :



2.2.1. Cet ion absorbe-t-il dans le domaine du visible ? Justifier la réponse à l'aide du graphe ci-dessus.

2.2.2. On rappelle que la présence de sept liaisons conjuguées ou plus dans une molécule organique qui ne présente pas de groupe caractéristique forme le plus souvent une substance colorée. Les solutions basiques de vanilline sont-elles colorées ? Expliquer pourquoi à l'aide de la structure de l'ion phénolate.

2.3.

2.3.1. Tracer sur papier millimétré la courbe d'étalonnage $A = f(c)$
(Échelle : 1 cm pour 0,10 en absorbance et 1 cm pour $0,50 \times 10^{-5} \text{ mol.L}^{-1}$ en concentration)

2.3.2. . La loi de Beer-Lambert est vérifiée. À l'aide du graphique précédent, expliquer pourquoi elle s'énonce sous la forme $A = k.c$.

2.4. Déterminer en détaillant la méthode utilisée la concentration en vanilline dans la solution à doser. On précise que la concentration en vanilline est égale à celle de l'ion phénolate.

2.5. Compte tenu du protocole suivi, en déduire la concentration en g.L^{-1} de vanilline dans l'échantillon de vanille liquide du commerce.

EXERCICE 2. LE PISTOLET LANCE-FUSEE (7 POINTS)

Lors de fouilles préventives sur un chantier de travaux publics, on a retrouvé ce qui ressemble à une arme à feu. Il s'agit d'un ancien pistolet lance-fusées en bronze datant probablement de la première Guerre Mondiale. Il est dans un état de conservation assez remarquable.

Ce type de pistolet était très utilisé lors de cette guerre car, en plus de lancer des fusées éclairantes, il pouvait servir de moyen de communication. En effet, à l'époque très peu de moyens étaient mis à disposition des troupes : les ondes hertziennes étaient très peu utilisées et c'étaient des kilomètres de câbles téléphoniques qui devaient être déroulés pour permettre la transmission de messages divers et variés.



Pistolet lance-fusées (d'après www.histoire-collection.com)

1. DUREE DE VISIBILITE DE LA FUSEE

Sur la notice des fusées éclairantes que l'on peut utiliser dans ce type de pistolet, on trouve les informations suivantes :

Cartouche qui lance une fusée éclairante s'allumant 1,0 seconde après son départ du pistolet et éclaire d'une façon intense pendant 6 secondes environ.

Masse de la fusée éclairante : $m_f = 58 \text{ g}$.

On se place dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

Le champ de pesanteur terrestre est considéré uniforme, de valeur $g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$.

On négligera toutes les actions dues à l'air ainsi que la perte de masse de la fusée pendant qu'elle brille et on considèrera cette dernière comme un objet ponctuel.

On définit un repère (O, \vec{i}, \vec{j}) avec O au niveau du sol et tel que la position initiale de la fusée éclairante à la sortie du pistolet soit à une hauteur $h = 1,8 \text{ m}$. Le vecteur vitesse initiale \vec{v}_0 est dans le plan (O,x,y) ; Ox est horizontal et Oy est vertical et orienté vers le haut.

À l'instant $t = 0 \text{ s}$, le vecteur vitesse de la fusée éclairante fait un angle $\alpha = 55^\circ$ avec l'axe Ox et sa valeur est $v_0 = 50 \text{ m.s}^{-1}$. On pourra se référer au schéma 1 ci-contre.

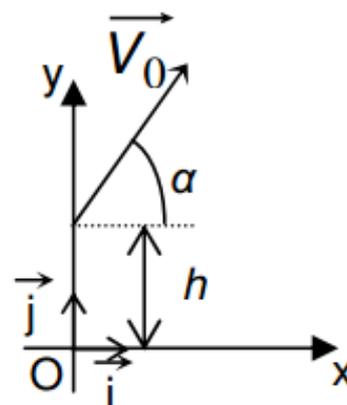


schéma 1

1.1. Redessinez (ou découper et coller) le schéma 1 ci-dessus sur votre copie.

- Y représenter le vecteur champ de pesanteur \vec{g} **sans souci d'échelle**

- Tracer également qualitativement l'allure de la trajectoire suivie par la fusée éclairante dans ce champ de pesanteur.

1.2. En utilisant une loi de Newton que l'on énoncera, déterminer les coordonnées du vecteur accélération de la fusée éclairante : $a_x(t)$ suivant x et $a_y(t)$ suivant y.

1.3. En déduire les expressions des coordonnées $v_x(t)$ et $v_y(t)$ du vecteur vitesse de la fusée éclairante et montrer que les équations horaires du mouvement de la fusée s'écrivent et

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

avec t en seconde, v_0 en mètre par seconde et $x(t)$, $y(t)$ et h en mètre.

1.4. Déterminer la valeur de la durée du vol de la fusée éclairante.

On rappelle qu'une équation du second degré de la forme $ax^2 + bx + c = 0$ admet deux solutions

$$x_1 = \frac{-b - \sqrt{\Delta}}{2a} \text{ et } x_2 = \frac{-b + \sqrt{\Delta}}{2a} \text{ si son discriminant } \Delta = b^2 - 4a \cdot c > 0$$

1.5. Calculer l'altitude à partir de laquelle la fusée commence à éclairer puis l'altitude à laquelle elle s'arrête. Ces valeurs paraissent-elles adaptées au but recherché ?

2. POUR ALLER UN PEU PLUS LOIN

Par souci de simplification, on ne considère que le système {fusée – pistolet} et on s'intéresse à sa quantité de mouvement. La masse du pistolet à vide est $m_p = 0,98$ kg.

2.1. Exprimer la quantité de mouvement totale \vec{p}_0 du système {fusée - pistolet} avant que la fusée ne quitte le pistolet puis montrer que celle-ci est équivalente au vecteur nul.

2.2. Éjection de la fusée

2.2.1. Que peut-on dire de la quantité de mouvement totale du système {fusée-pistolet} si l'on considère ce système comme un système isolé au cours de l'éjection de la fusée du pistolet ?

2.2.2. En déduire dans ce cas l'expression vectorielle de la vitesse \vec{v}_p de recul du pistolet juste après l'éjection de la fusée en fonction de la masse du pistolet m_p , de la masse de la fusée m_f et du vecteur vitesse initiale de la fusée \vec{v}_0 .

2.2.3. La valeur réelle de la vitesse est beaucoup plus faible que la valeur que l'on obtient à la question précédente.

Pourquoi observe-t-on une telle différence ? Justifier la réponse.

EXERCICE 3. : 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

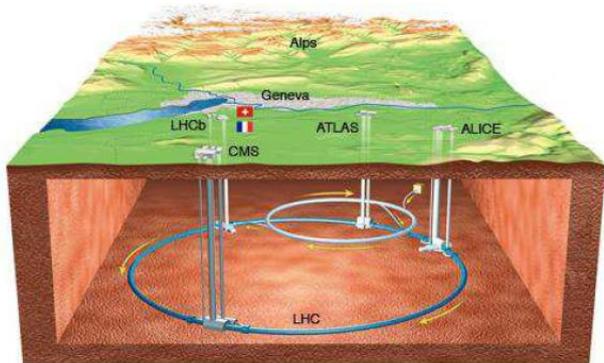
Le modèle standard arrive à décrire toutes les particules élémentaires connues et la façon dont elles interagissent les unes avec les autres. Mais notre compréhension de la nature est incomplète. En particulier, le modèle standard ne répond pas à une question simple : pourquoi la plupart des particules 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 $\times c$. 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 $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ 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 : $\Delta T = \gamma \cdot \Delta T_0$.

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 :

$$E_c = (\gamma - 1)m_p \cdot c^2.$$

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 (VERtix 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.