BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2015

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

Durée de l'épreuve : 3 heures 30
Coefficient : 6

L'usage de la calculatrice est autorisé

Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré

Obligatoire

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

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

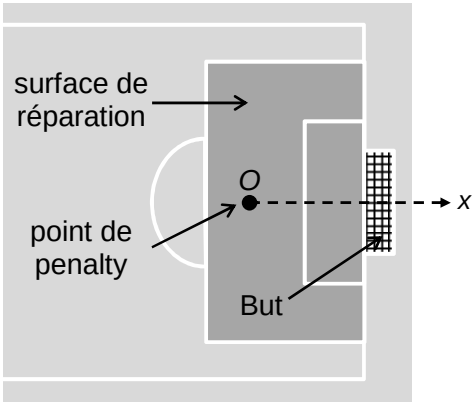
La page d'annexe 12 EST À RENDRE AVEC LA COPIE même si elle n'a pas été complétée.

EXERCICE I. LES TIRS AU BUT (6 points)

Antonín PANENKA, footballeur international tchécoslovaque, est connu pour avoir laissé son nom à une technique particulière pour tirer les penaltys ou « tirs au but ». Au lieu de frapper en force, il frappe doucement le ballon qui prend alors une trajectoire « en cloche ». Son geste est devenu célèbre au soir de la finale de la Coupe d'Europe des Nations de 1976, où la Tchécoslovaquie battait la République Fédérale d'Allemagne tenante du titre. Antonin PANENKA marquant le dernier penalty par cette technique de balle « en cloche » venait d'inventer la « *Panenka* ».

Lors d'un match de football, un joueur doit tirer un penalty et décide de tenter une « *Panenka* ». Le joueur dépose le ballon au point de penalty O, pris comme origine du repère.

Le joueur frappe le ballon en direction du centre du but et lui communique une vitesse initiale $\overrightarrow{v_0}$ de valeur 11,5 m.s^{-1} et dont la direction fait un angle α = 55° avec l'horizontale.



Données :

- intensité de la pesanteur : g = 9,81 N.kg^{-1};
- masse du ballon : m = 620 g ;
- termes utilisés dans la pratique du football :

Les buts
Les buts sont constitués de deux montants verticaux (poteaux) reliés en leur sommet par une barre transversale. Le bord inférieur de la barre transversale se situe à une hauteur de 2,44 m par rapport au sol.

Le penalty
Le penalty est une action consistant à frapper directement au but depuis un point nommé « point de penalty » ou « point de réparation ». Un penalty est réussi si le ballon franchit la ligne de buts en passant entre les montants et sous la barre transversale.

La surface de réparation
À l'intérieur de chaque surface de réparation, le point de penalty est marqué à 11,0 m du milieu de la ligne de but et à égale distance des montants verticaux du but.

1. Schématisation du problème

1.1. Tracer un repère orthonormé (Ox ; Oz) et représenter, dans ce repère, la situation du penalty, sans souci d'échelle.

Les grandeurs suivantes devront apparaitre : le vecteur vitesse initiale $\overrightarrow{v_0}$, l'angle α, la hauteur h des buts et la distance d du point de pénalty à la ligne de but.

1.2. On note A le point où se situe le ballon lorsqu'il franchit la ligne de but. Quelles conditions doivent vérifier les coordonnées (x_A ; z_A) de ce point pour que le pénalty soit réussi ?

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 2 / 12
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé scanner ou cliquer

2. Étude dynamique du mouvement du ballon

Dans cette partie, on étudie le mouvement du centre d'inertie G du ballon en négligeant les forces de frottement de l'air sur le ballon ainsi que la poussée d'Archimède.

2.1. Établir l'expression du vecteur accélération $\overrightarrow{a_G}$ du centre d'inertie du ballon.

2.2. Établir les équations horaires $x(t)$ et z(t) du mouvement du centre d'inertie G et montrer que l'équation de la trajectoire du ballon, dans le plan (xOz), peut s'écrire :

$$z(x) = -\frac{g \cdot x^2}{2 \cdot v_0^2 \cdot (\cos \alpha)^2} + \tan \alpha \cdot x$$

2.3. En exploitant les données et les documents, déterminer si le penalty décrit en début d'exercice est réussi. Expliciter votre raisonnement.

3. Étude énergétique du mouvement du ballon

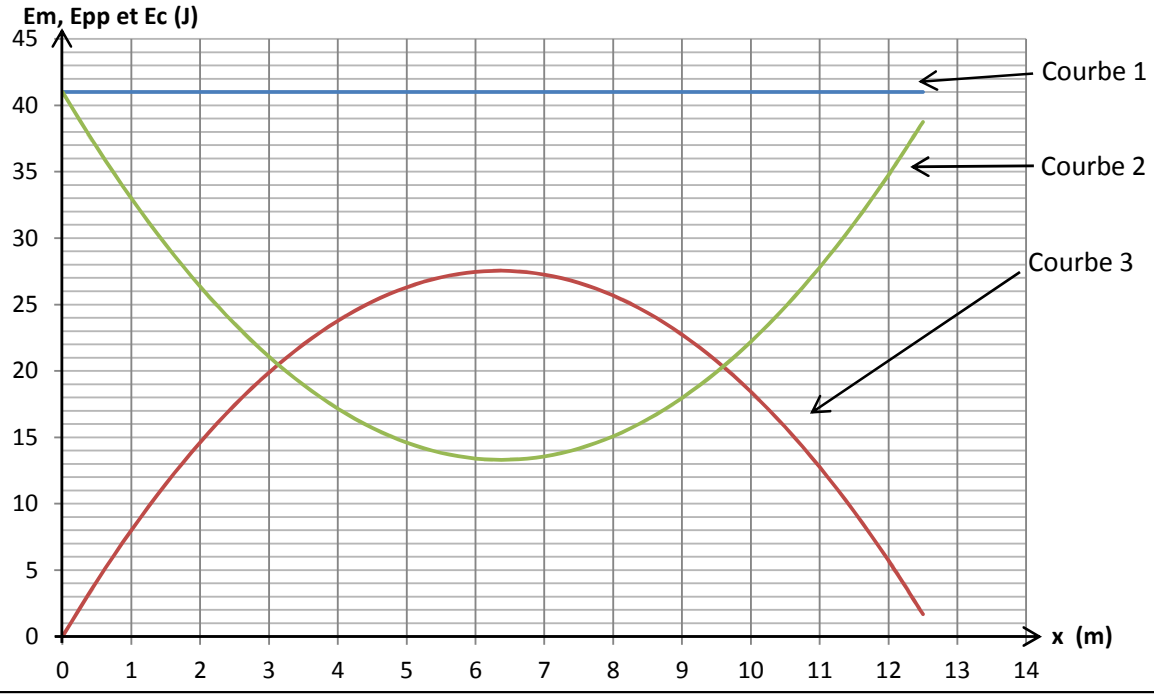
On admet que le ballon passe au niveau de la ligne de but à une hauteur $z_A = h_A$.

3.1. Rappeler les expressions de l'énergie cinétique E_c, de l'énergie potentielle de pesanteur E_{pp} et de l'énergie mécanique E_m. On choisira un axe vertical ascendant et une énergie potentielle de pesanteur nulle à l'origine.
En explicitant votre raisonnement, associer à chaque courbe du document 1 la forme d'énergie correspondante.

3.2. À l'aide du document 1, déterminer les valeurs de la hauteur h_A et de la vitesse v_A lorsque le ballon franchit la ligne de but.

3.3. Que peut-on dire de l'énergie mécanique du ballon lors de son mouvement ? Utiliser cette caractéristique du mouvement pour retrouver la valeur v_A de la vitesse du ballon lorsqu'il franchit la ligne de but et comparer le résultat trouvé avec celui de la question 3.2. Conclure.

Document 1 : Évolution des énergies E_m, E_{pp} et E_c



Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 3 / 12
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé
scanner ou cliquer

EXERCICE II. SYNTHÈSE D'UN ANESTHÉSIQUE : LA BENZOCAÏNE (9 points)

La benzocaïne (4-aminobenzoate d'éthyle) est utilisée en médecine comme anesthésique local d'usage externe. Elle est présente dans des crèmes pour le traitement des coups de soleil, mais on la trouve aussi dans de nombreuses autres préparations : pastilles contre les maux de gorge, produits gingivaux contre les douleurs dentaires.

Dans le cadre d'un projet de recherche, demandé en premier cycle universitaire, on envisage de synthétiser de la benzocaïne. Pour cela, quatre grandes tâches devront être réalisées :

- l'étude bibliographique préliminaire ;
- la vérification de la pureté d'un réactif ;
- la réalisation de la dernière étape de la synthèse et l'évaluation de son rendement ;
- l'identification du produit obtenu.

Données :

- Masse molaire moléculaire en $g.mol^{-1}$:
  éthanol : 46,0 ; benzocaïne : 165,2 ; acide 4-aminobenzoïque : 137,1
- Masse volumique de l'éthanol : $0,79\ g.mL^{-1}$
- pKa_1 (NH_3^+-C_6H_4-$COOH_{(aq)}$ / NH_3^+-C_6H_4-$COO^-_{(aq)}$) = 2,5
- pKa_2 (NH_3^+-C_6H_4-$COO^-_{(aq)}$ / NH_2-C_6H_4-$COO^-_{(aq)}$) = 4,9
- Degré de pureté d'une espèce chimique : rapport de la masse de cette espèce chimique présente dans un échantillon sur la masse de cet échantillon

1. Étude bibliographique préliminaire

Lors de la phase de recherche bibliographique, deux documents ont été retenus : le document 1 en fin d'exercice et le document 2 en annexe en fin de sujet.

1.1. Représenter sur votre copie la molécule de benzocaïne. Entourer les groupes caractéristiques présents, puis nommer les familles chimiques correspondantes.

1.2. La molécule de benzocaïne présente-t-elle des énantiomères ou des diastéréoisomères ? Justifier.

1.3. En vous appuyant sur le document 1 et sur vos connaissances**,** répondre aux questions suivantes :

1.3.1. Pourquoi l'étape (a) de la synthèse de la benzocaïne peut-elle être classée dans la catégorie des réactions de substitution ?

1.3.2. L'étape (b) fait intervenir un métal, le palladium (Pd), en tant que catalyseur. Indiquer les propriétés d'un catalyseur.

1.4. Sur le document 2, situé en **annexe à rendre avec la copie,** compléter le mécanisme réactionnel de l'étape (d) (estérification), à l'aide de flèches courbes.

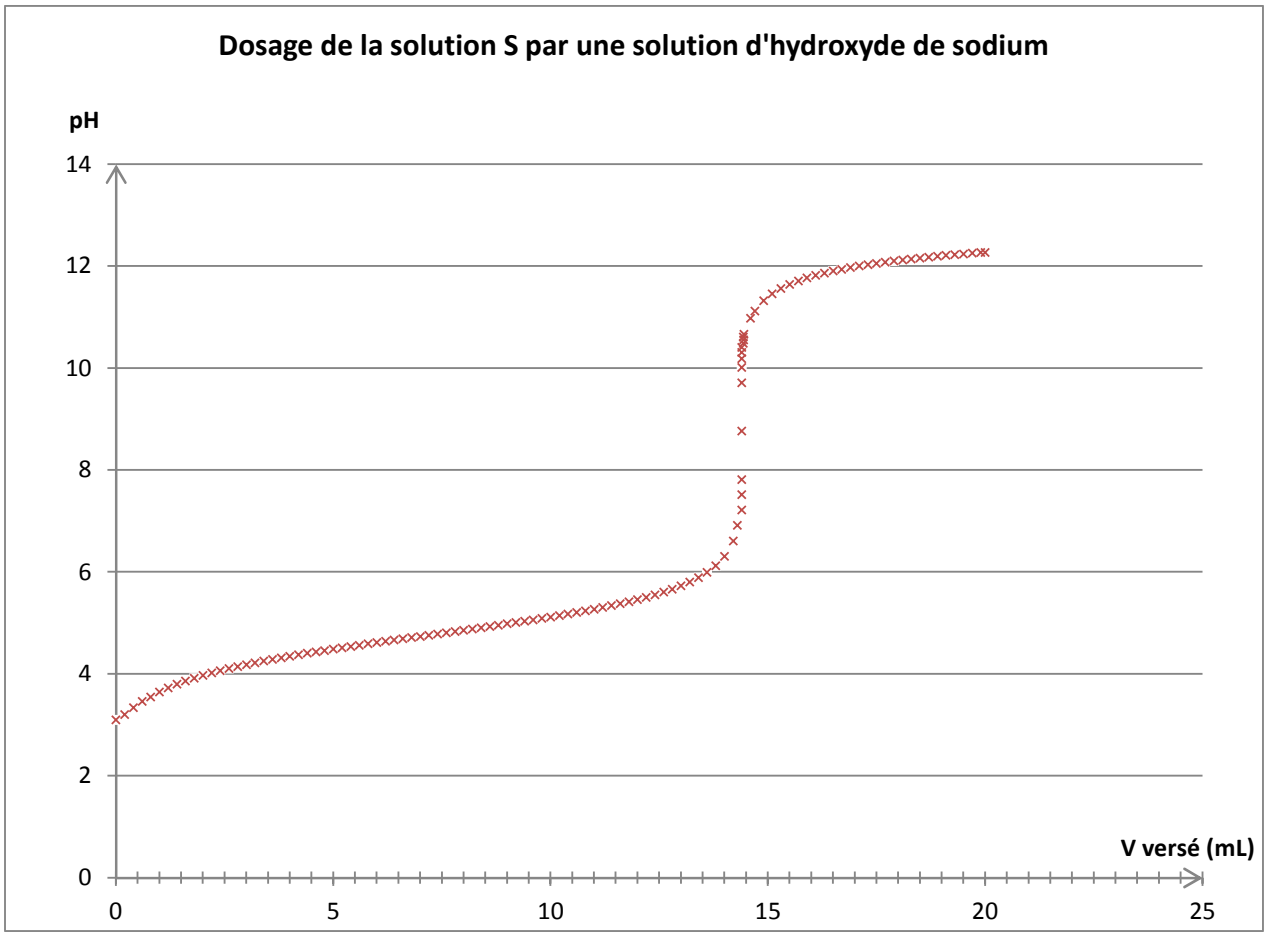
2. Vérification de la pureté du réactif

Pour réaliser la synthèse de la benzocaïne, il faut que le réactif, l'acide 4-aminobenzoïque, ait un degré de pureté supérieur à 98 %.

On dispose au laboratoire d'un flacon d'acide 4-aminobenzoïque dont la pureté n'est pas indiquée. Afin de la vérifier, un dosage par titrage est réalisé.

Pour cela, on prélève une masse m = 1,00 g de poudre contenue dans le flacon. Cet échantillon est ensuite introduit dans une fiole jaugée de 50,0 mL que l'on complète avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge en homogénéisant. La solution S obtenue a un pH de 3,8.

On titre cette solution S par une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium ($Na^+_{(aq)}$ + $HO^-_{(aq)}$) de concentration molaire C_B = 5,00 x 10^{-1} mol.L^{-1}. On suit le titrage par pH-métrie. Le graphique représentant l'évolution du pH en fonction du volume d'hydroxyde de sodium versé est représenté ci-dessous :



2.1.1. À l'aide des données et de vos connaissances, justifier que l'espèce chimique dosée dans la solution S est NH_3^+ –C_6H_4 –$COO^-_{(aq)}$.

2.1.2. Sous quelle forme se retrouve l'espèce chimique dosée à la fin du titrage ?

2.1.3. Écrire l'équation chimique de la réaction support du titrage.

2.2. À l'aide du graphique précédent, déterminer le volume à l'équivalence en précisant la méthode utilisée.

2.3. En déduire la concentration molaire de la solution aqueuse de l'acide 4-aminobenzoïque avec deux chiffres significatifs.

2.4. Une méthode plus précise conduit à la valeur C = 1,44 × 10^{-1} mol.L^{-1} pour la concentration molaire de l'acide 4-aminobenzoïque.

Le produit contenu dans le flacon peut-il être utilisé dans la synthèse envisagée ?

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 5 / 12
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé
scanner ou cliquer

3. Réalisation de la dernière étape de la synthèse et détermination de son rendement

Dans un ballon de 100 mL, introduire une masse m = 1,50 g de l'acide 4-aminobenzoïque solide et un volume V = 20,0 mL d'éthanol. Agiter doucement le mélange, le ballon étant placé dans un bain de glace et ajouter goutte à goutte 1 mL d'une solution concentrée d'acide sulfurique.

Chauffer à reflux pendant une heure, puis laisser revenir le mélange à température ambiante.

Après plusieurs étapes de séparation afin de récupérer le produit formé, on obtient un solide blanc qui est séché et pesé.

3.1. Montrer que la masse de benzocaïne, notée $m_{théorique}$, que l'on peut espérer former à l'issue de la synthèse vaut : $m_{théorique}$ = 1,80 g.

3.2. En fin de synthèse, la masse de produit récupéré est $m_{expérimental}$ = 0,81 g. Définir et calculer le rendement de cette réaction.

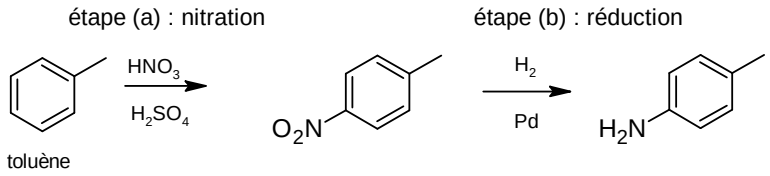
4. Identification du produit formé

4.1. Dans le document 3, on donne les spectres infrarouge de l'acide 4-aminobenzoïque et du produit obtenu. Associer à chaque molécule son spectre IR en justifiant.

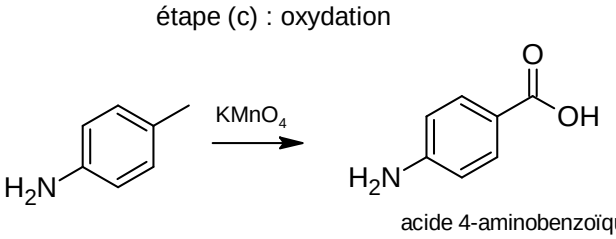
4.2. Vérifier, à l'aide du spectre RMN du produit obtenu, que l'étape d'estérification de la benzocaïne s'est bien déroulée.

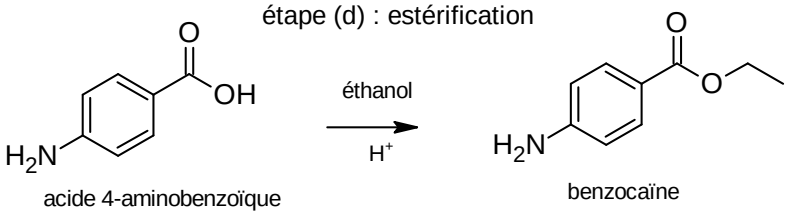
Document 1 : La synthèse de la benzocaïne

La benzocaïne est préparée à partir du toluène en plusieurs étapes.
La première étape débute par une nitration du toluène, suivie d'une hydrogénation catalytique en présence de palladium afin de réduire le groupe nitro $-NO_2$ en groupe amino $-NH_2$.



On procède ensuite à une oxydation sélective, par du permanganate de potassium, pour obtenir l'acide 4-aminobenzoïque, suivie d'une estérification pour obtenir la benzocaïne.





Adapté d'un ouvrage universitaire de chimie organique (J. Clayden & al. Chimie organique)

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 6 / 12
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé scanner ou cliquer

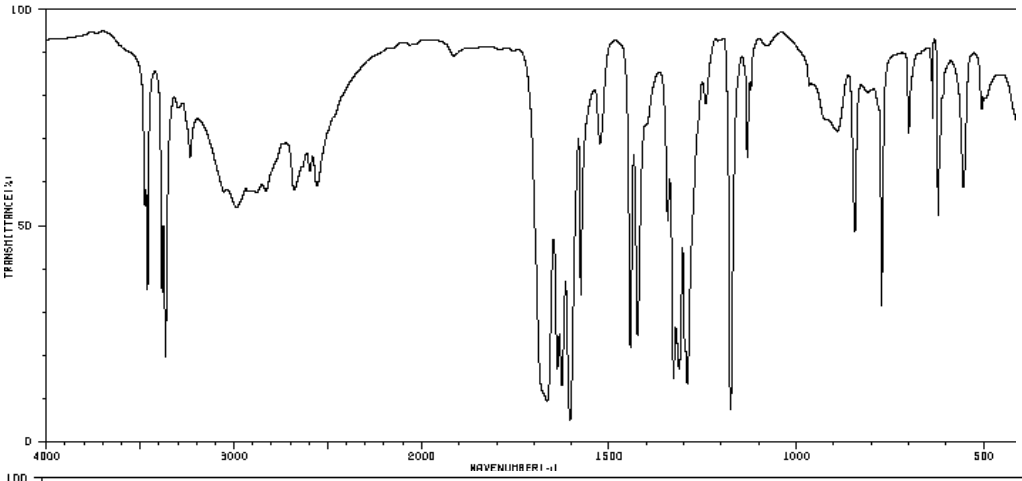
Document 2 : Mécanisme réactionnel de l'étape (d) (estérification).

Le document se trouve en annexe à rendre avec la copie

Documents 3 : Analyse du produit obtenu

Spectres infrarouge de l'acide 4-aminobenzoïque et du produit obtenu

Spectre 1



Spectre 2

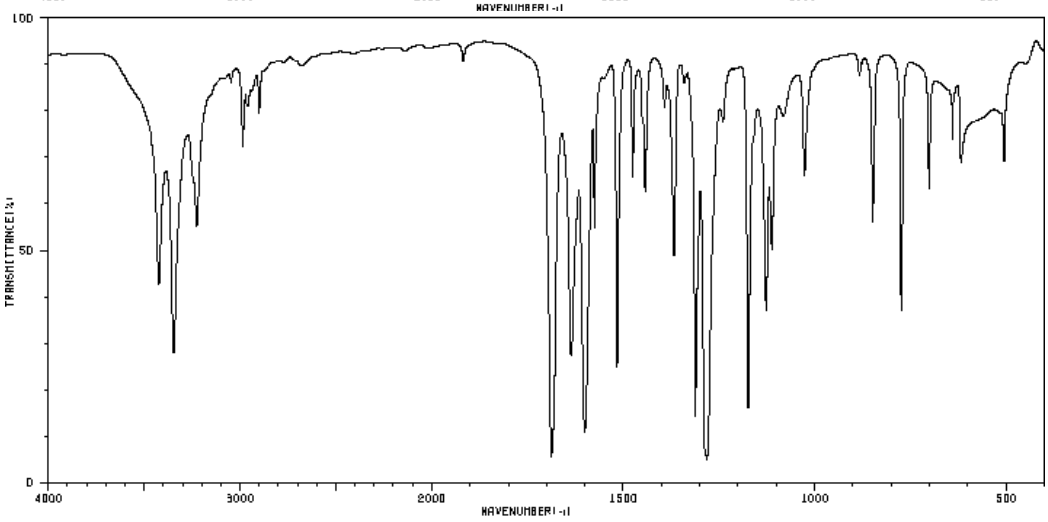


Table spectroscopique IR simplifiée :

Liaison	Nombre d'onde (cm^{-1})	Intensité
O-H alcool libre	3500 - 3700	forte, fine
O-H alcool lié	3200 - 3400	forte, large
O-H acide carboxylique	2500 - 3200	forte à moyenne, large
N-H amine	3100 - 3500	moyenne
N-H amide	3100 - 3500	forte
N-H amine ou amide	1560 - 1640	forte ou moyenne
C_{tri}-H	3000 - 3100	moyenne
C_{tet}-H	2800 - 3000	forte
C=O ester	1700 - 1740	forte
C=O amide	1650 - 1740	forte
C=O aldéhyde et cétone	1650 - 1730	forte
C=O acide	1680 - 1710	forte

Remarque :

C_{tri} signifie que l'atome de carbone est trigonal, c'est-à-dire relié à 3 voisins.

C_{tet} signifie que l'atome de carbone est tétragonal, c'est-à-dire relié à 4 voisins.

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac

Page 7 / 12

Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale

Voir le corrigé
scanner ou cliquer

Spectre RMN du produit obtenu

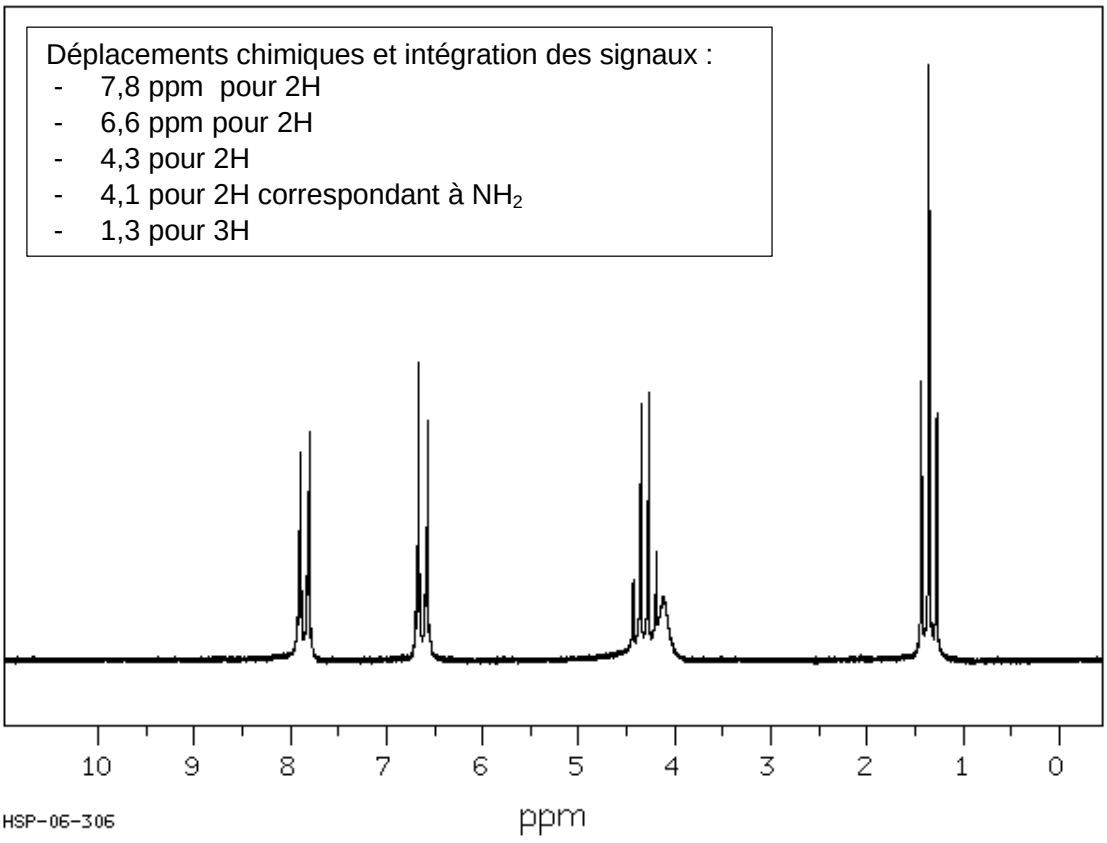
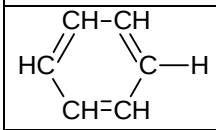


Table simplifiée de déplacements chimiques en RMN du proton :

Environnement des H	Déplacement chimique du proton (ppm)
R-H	0,7 - 2,0
	7,0 - 9,0
R-NH-	0,6 - 5,0
R-OH	1,0 - 5,2
C=C-H	4,5 - 6,0
R-O-C(R')-H	3,1 - 4,0
R-CO-O-CH- (esters)	3,7 - 4,8
R-CO-CH- (cétones)	2,2 - 2,7

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 8 / 12
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé
scanner ou cliquer

EXERCICE III. DES CINÉMOMÈTRES (5 POINTS)

La mesure de vitesse intervient dans un très grand nombre de procédés technologiques dans des domaines très variés : industrie, médecine, sport, transport, aérospatiale, …

Les dispositifs de mesure de vitesse sont généralement appelés cinémomètres. Les cinémomètres les plus courants peuvent être classés en deux catégories : les « cinémomètres Doppler » et les « cinémomètres laser ».

Cet exercice s'intéresse à certains aspects du fonctionnement et de l'utilisation de ces deux types d'appareils pour mesurer la valeur de la vitesse d'une "cible" dont la nature dépend du domaine d'application.

1. Cinémomètre Doppler

Ce type d'appareil utilise une onde électromagnétique monochromatique. Il comprend essentiellement : un émetteur qui génère une onde de fréquence f_0 = 24,125 GHz, un récepteur qui reçoit cette onde après réflexion sur la "cible" et une chaine de traitement électronique qui compare le signal émis et le signal reçu.
Si la "cible" visée a une vitesse non nulle par rapport au cinémomètre, l'appareil produit un signal périodique dont la fréquence, appelée « *fréquence Doppler* », est proportionnelle à la vitesse de la "cible".

Données :

- Relation, en première approximation, entre la « fréquence Doppler » et la vitesse de la "cible" :

$$f_D = \frac{2 \,.\, f_0 \,.\, v_r}{c}$$

f_D : fréquence Doppler
f_0 : fréquence de l'émetteur
v_r : vitesse relative à la "cible" par rapport à l'émetteur
c : vitesse de la lumière dans le vide

- Célérité des ondes électromagnétiques dans le vide ou dans l'air :

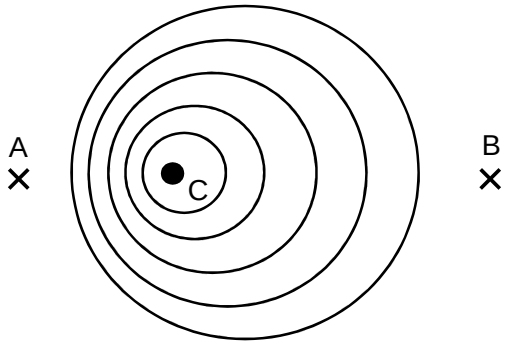
$$c = 3{,}00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$$

1.1. Les cinémomètres Doppler utilisent l'effet Doppler. Expliquer en quelques lignes en quoi consiste ce phénomène.

Un cinémomètre Doppler immobile est utilisé pour mesurer la vitesse d'une "cible" qui s'approche de lui. Les ondes électromagnétiques émises sont réfléchies par la "cible" avant de revenir au cinémomètre.

1.2. La figure ci-contre modélise de manière très simplifiée l'allure des ondes réfléchies par cette "cible", notée C.

Déterminer, en explicitant le raisonnement suivi, si le cinémomètre Doppler est située au point A ou au point B.



Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 9 / 12
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé scanner ou cliquer

1.3. Un cinémomètre Doppler est utilisé pour mesurer la vitesse des balles de tennis lors des principaux tournois internationaux comme celui de Roland Garros. Au cours de ce tournoi, lors d'un service, l'appareil mesure une fréquence Doppler de valeur f_D = 7416 Hz.

1.3.1. Calculer la valeur de la vitesse de cette balle.

1.3.2. Ce résultat est-il cohérent avec celui affiché sur la photographie ci-dessous prise lors de ce service ?



2. Cinémomètre laser

Le principe de la mesure de vitesse grâce à cet instrument est basé sur une mesure de la distance séparant la "cible" du cinémomètre laser. On mesure le temps mis par une impulsion laser pour atteindre la "cible" visée et revenir au cinémomètre après réflexion. Un compteur électronique de temps est déclenché lorsque l'impulsion est émise par le laser et arrêté lorsque l'impulsion « retour » est détectée. Connaissant la durée d'un aller-retour ainsi que la vitesse de la lumière, on en déduit la distance laser-cible. Pour connaître la vitesse de la "cible", il suffit de répéter le processus de mesure de distance à des intervalles de temps fixes.

Données :

● Valeur de la longueur d'onde de l'onde électromagnétique utilisée par un cinémomètre laser :

λ = 904 nm

● Durée entre l'émission de deux impulsions laser consécutives :

T = 100 µs

● Exploitation d'une série de mesures d'une grandeur X :

Pour une série de mesures pour lesquelles on suppose les conditions de répétabilité vérifiées, on admet que :

- la meilleure estimation de la valeur x de la grandeur X est égale à la moyenne $\bar{x}$ des N valeurs mesurées ;
- la meilleure estimation de l'incertitude de mesure de la grandeur X, avec un niveau de confiance de 95% s'écrit :

$$U_X = 2 \times \frac{s_{n-1}}{\sqrt{N}}$$

N : nombre de valeurs disponibles
s_{n-1} : écart-type expérimental tel que :

$$s_{n-1} = \sqrt{\frac{1}{(N-1)} \times \sum_{i=1}^{N} (x_i - \bar{x})^2}$$

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 10 / 12
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé scanner ou cliquer

2.1. Expliquer le principe de l'émission stimulée et donner les principales propriétés du laser.

2.2. À quel domaine spectral appartient l'onde électromagnétique utilisée dans le radar laser étudié ?

2.3. Dans un processus de production industrielle, un cinémomètre laser en cours de réglage a effectué très rapidement une série de 10 mesures à intervalle de temps fixe. On obtient les résultats suivants :

Mesure n°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
v (m.s^{-1})	3,4	3,8	3,9	3,7	3,6	3,7	3,5	3,8	3,7	3,6

2.3.1. Évaluer le résultat de la mesure en faisant apparaitre la valeur de l'incertitude avec un niveau de confiance de 95 % et présenter le résultat sous la forme :

$$v = \bar{v} \pm u_v$$

v : vitesse du véhicule (m.s^{-1})
$\bar{v}$: meilleure estimation de la valeur de la vitesse (m.s^{-1})
u_v : meilleure estimation de l'incertitude associée à la mesure (m.s^{-1})

2.3.2. Pour le processus considéré, on souhaite disposer d'une incertitude relative inférieure ou égale à 3 %. Cette condition est-elle vérifiée pour le résultat précédent ?

2.4. Afin de déterminer la vitesse d'une "cible", le cinémomètre radar réalise plusieurs mesures de durée de parcours d'impulsions lumineuses.

2.4.1. Pour deux impulsions successives émises par le cinémomètre laser, montrer que la vitesse v de la "cible" s'écrit :

$$v = c\,\frac{|\tau - \tau'|}{2\,T}$$

v : vitesse du véhicule-cible
c : vitesse de la lumière
T : durée écoulée entre deux impulsions successives
τ : durée mise par la première impulsion pour parcourir un aller-retour
τ' : durée mise par la deuxième impulsion pour parcourir un aller-retour

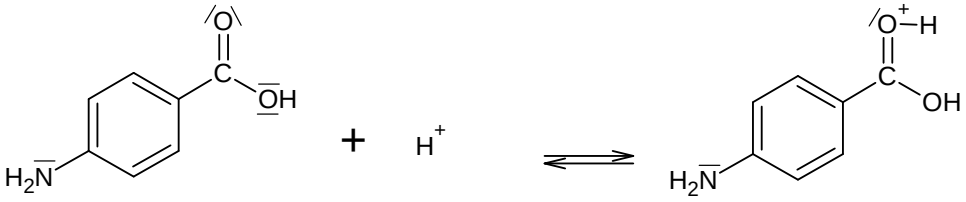
2.4.2. Dans le cas étudié à la question 2.3, montrer en raisonnant sur les ordres de grandeur, qu'il est techniquement très difficile de réaliser une mesure de la différence de durées $|\tau - \tau'|$. Expliciter le raisonnement.

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 11 / 12
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé
scanner ou cliquer

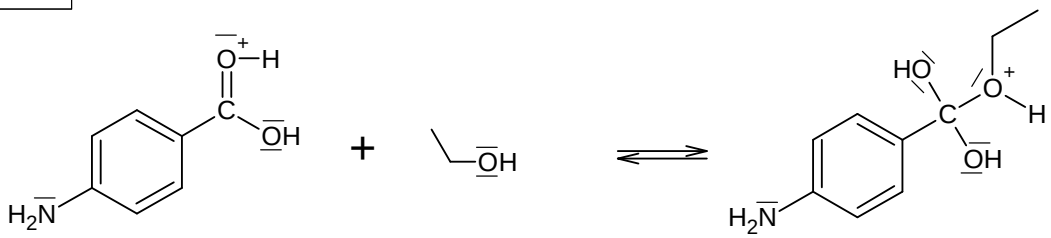
Annexe à rendre avec la copie

Document 2 : Mécanisme réactionnel de l'étape (d) (estérification).

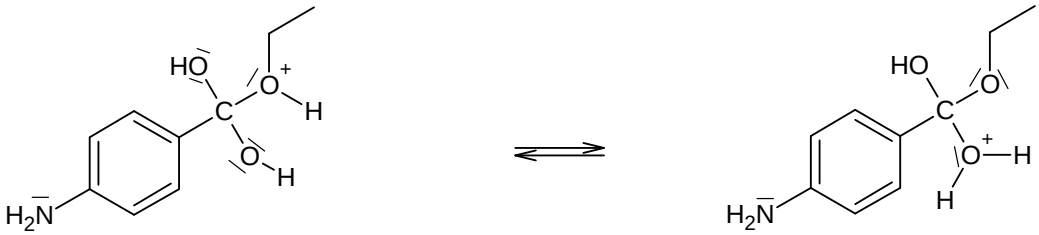
Étape (1)



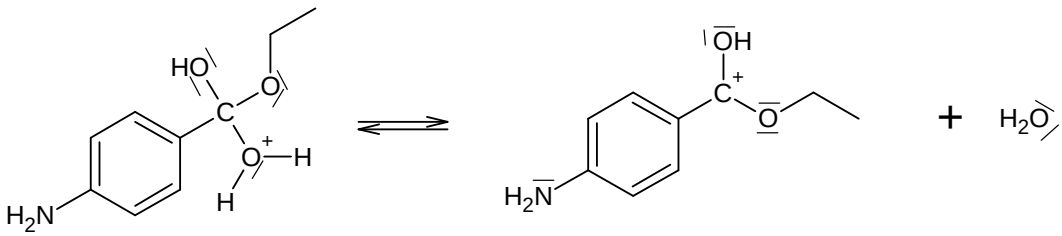
Étape (2)



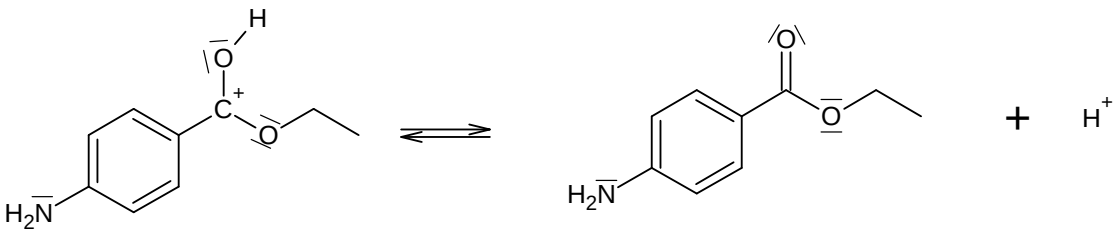
Étape (3)



Étape (4)



Étape (5)



Le corrigé détaillé est sur galilee.ac

Page 12 / 12

Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale

Voir le corrigé
scanner ou cliquer