

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2015

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

Durée de l'épreuve : 3 heures 30
Coefficient : 8

L'usage de la calculatrice est autorisé

Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré

Le sujet comporte trois exercices présentés sur 13 pages numérotées de 1/13 à 13/13 y compris celle-ci.

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

La page d'annexe 13 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 \vec{v}_0 de valeur $11,5 \text{ m.s}^{-1}$ et dont la direction fait un angle $\alpha = 55^\circ$ avec l'horizontale.

Données :

- intensité de la pesanteur : $g = 9,81 \text{ N.kg}^{-1}$;
- masse du ballon : $m = 620 \text{ g}$;
- 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 $2,44 \text{ m}$ 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

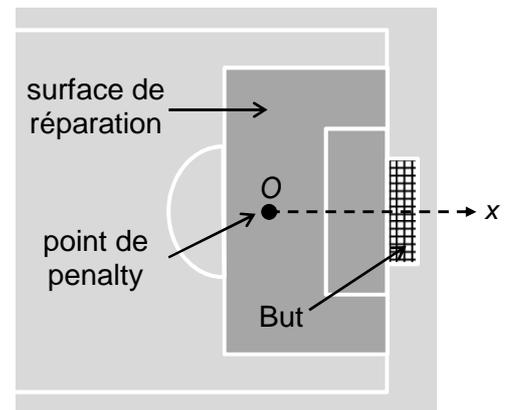
À l'intérieur de chaque surface de réparation, le point de penalty est marqué à $11,0 \text{ m}$ du milieu de la ligne de but et à égale distance des montants verticaux du but.

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 apparaître : le vecteur vitesse initiale \vec{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 ?



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 \vec{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 $z_A = h_A$.

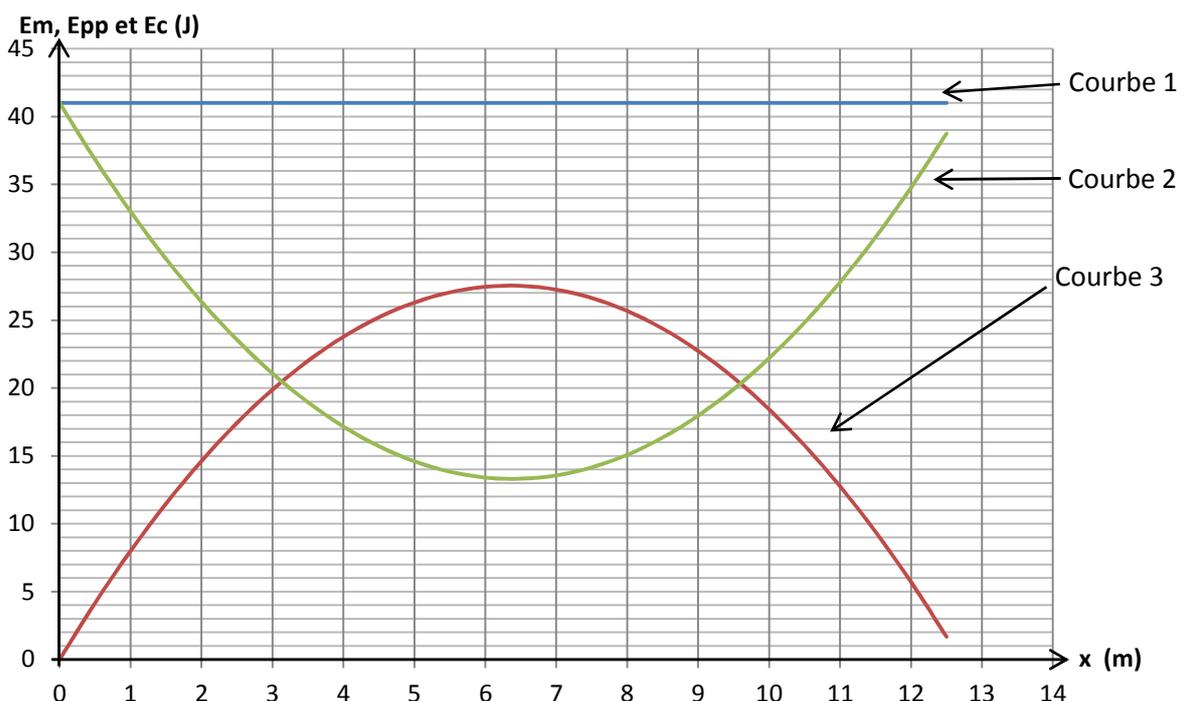
3.1. Rappeler les expressions de l'énergie cinétique E_c , de l'énergie potentielle de pesanteur E_{pp} et de l'énergie mécanique E_m . On choisira un axe vertical ascendant et une énergie potentielle de pesanteur nulle à l'origine.

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



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 $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$:
éthanol : 46,0 ; benzocaïne : 165,2 ; acide 4-aminobenzoïque : 137,1
- Masse volumique de l'éthanol : $0,79 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$
- $pK_{a1}(\text{NH}_3^+-\text{C}_6\text{H}_4-\text{COOH}_{(\text{aq})} / \text{NH}_3^+-\text{C}_6\text{H}_4-\text{COO}^-_{(\text{aq})}) = 2,5$
- $pK_{a2}(\text{NH}_3^+-\text{C}_6\text{H}_4-\text{COO}^-_{(\text{aq})} / \text{NH}_2-\text{C}_6\text{H}_4-\text{COO}^-_{(\text{aq})}) = 4,9$
- 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.

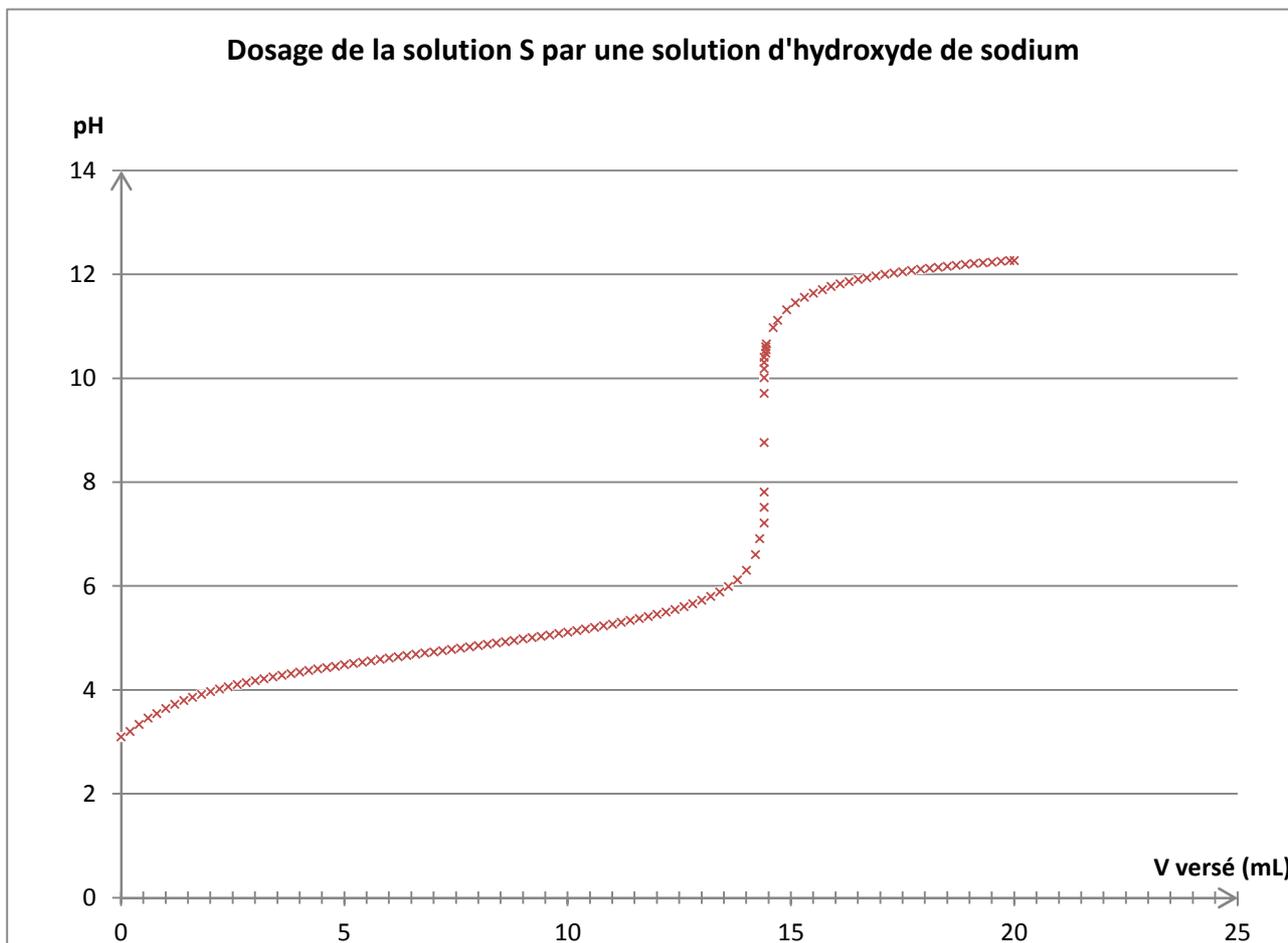
2. Vérification de la pureté du réactif

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 ($\text{Na}^+_{(\text{aq})} + \text{HO}^-_{(\text{aq})}$) de concentration molaire $C_B = 5,00 \times 10^{-1}$ 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 $\text{NH}_3^+ - \text{C}_6\text{H}_4 - \text{COO}^-_{(\text{aq})}$.

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 $C = 1,44 \times 10^{-1}$ 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 ?

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

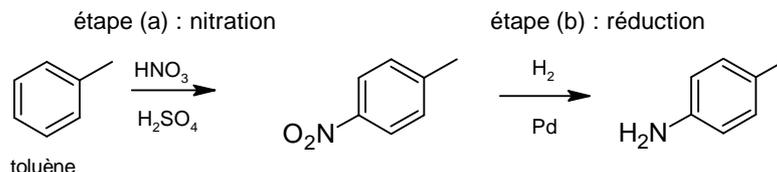
4.1. Dans le document 3, on donne les spectres infrarouge de l'acide 4-aminobenzoïque et du produit obtenu. Associer à chaque molécule son spectre IR en justifiant.

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

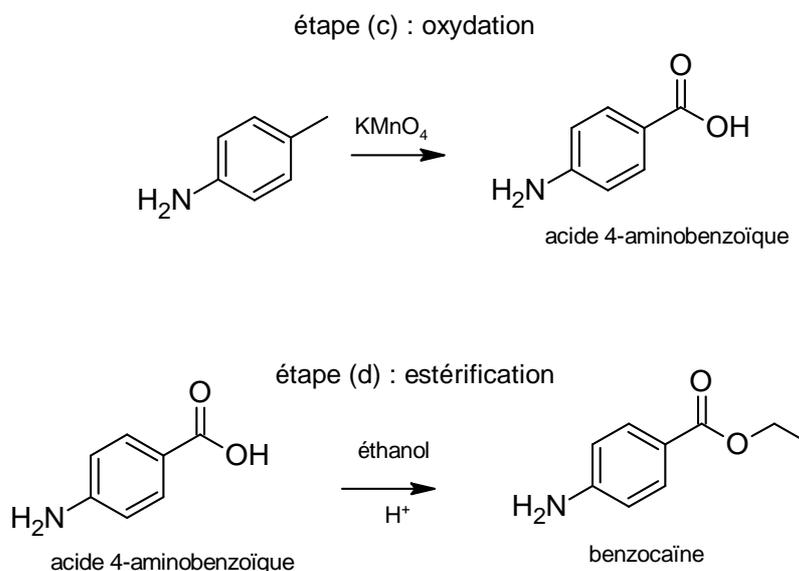
Document 1 : La synthèse de la benzocaïne

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)

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

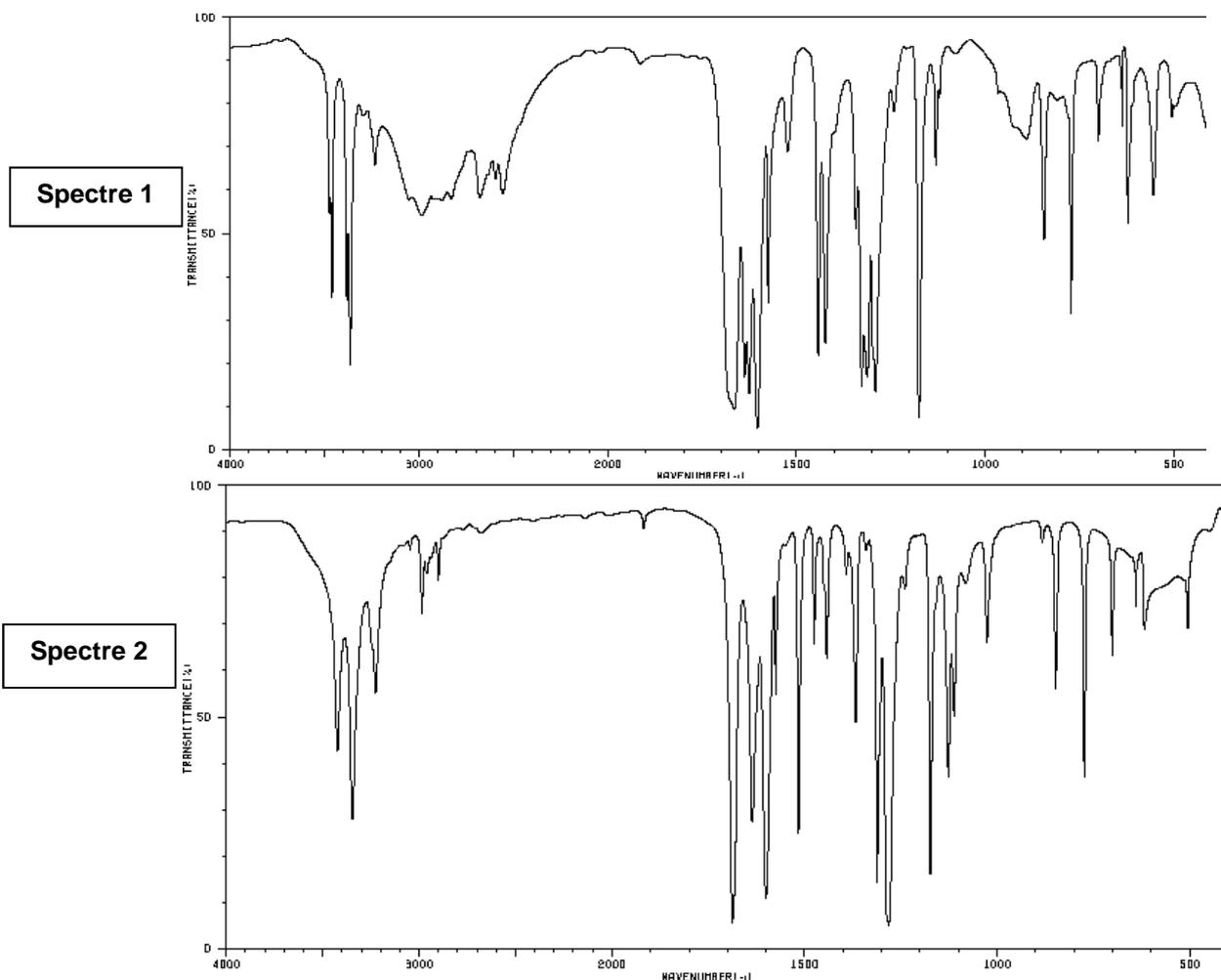


Table spectroscopique IR simplifiée :

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 tétraogonal, c'est-à-dire relié à 4 voisins.

Spectre RMN du produit obtenu

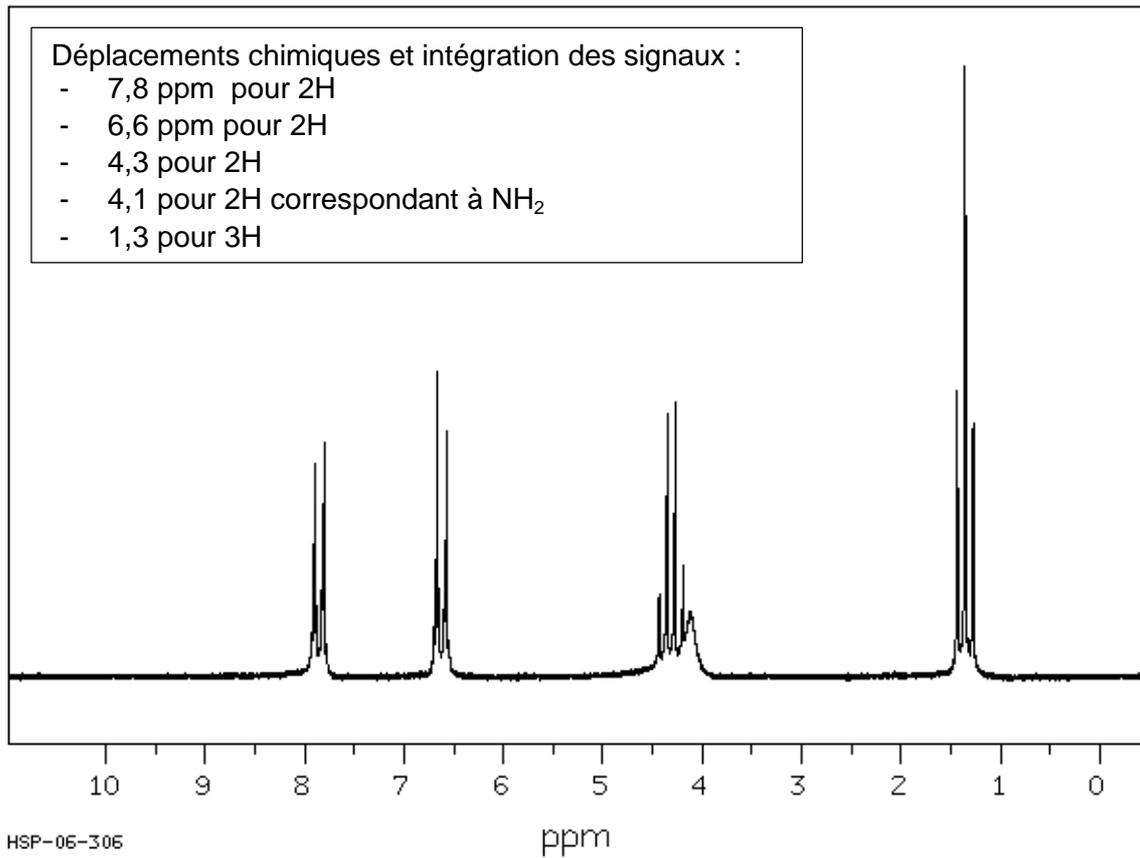


Table simplifiée de déplacements chimiques en RMN du proton :

Environnement des H	Déplacement chimique du proton (ppm)
R-H	0,7 - 2,0
$ \begin{array}{c} \text{CH}=\text{CH} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{HC} \quad \quad \text{C}-\text{H} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{CH}=\text{CH} \end{array} $	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

EXERCICE III. LE CAPODASTRE (5 points)

Un capodastre est un accessoire que l'on fixe en travers du manche d'une guitare sur une case particulière. De composition très variable (élastique, ressort ou boulon), il raccourcit la longueur de toutes les cordes sans modifier leurs tensions, ce qui crée en fait un nouveau sillet. Toutes les cordes à vide jouent maintenant des tons de hauteur supérieure à ceux qu'elles produisent sans le capodastre.



Photographie d'un capodastre placé sur la 3^{ème} case du manche d'une guitare.

La principale fonction du sillet est de maintenir les cordes au niveau de la tête de la guitare. Le sillet fixe ainsi la limite haute des cordes de la guitare, tout comme le chevalet sur la partie basse de l'instrument. Il joue ainsi le rôle de « frette zéro » et détermine donc le son des cordes à vide obtenu lorsqu'on fait vibrer une corde sans placer de doigt sur le manche.

Dans cet exercice, on s'intéresse au rôle du capodastre utilisé par les guitaristes.

Question préalable :

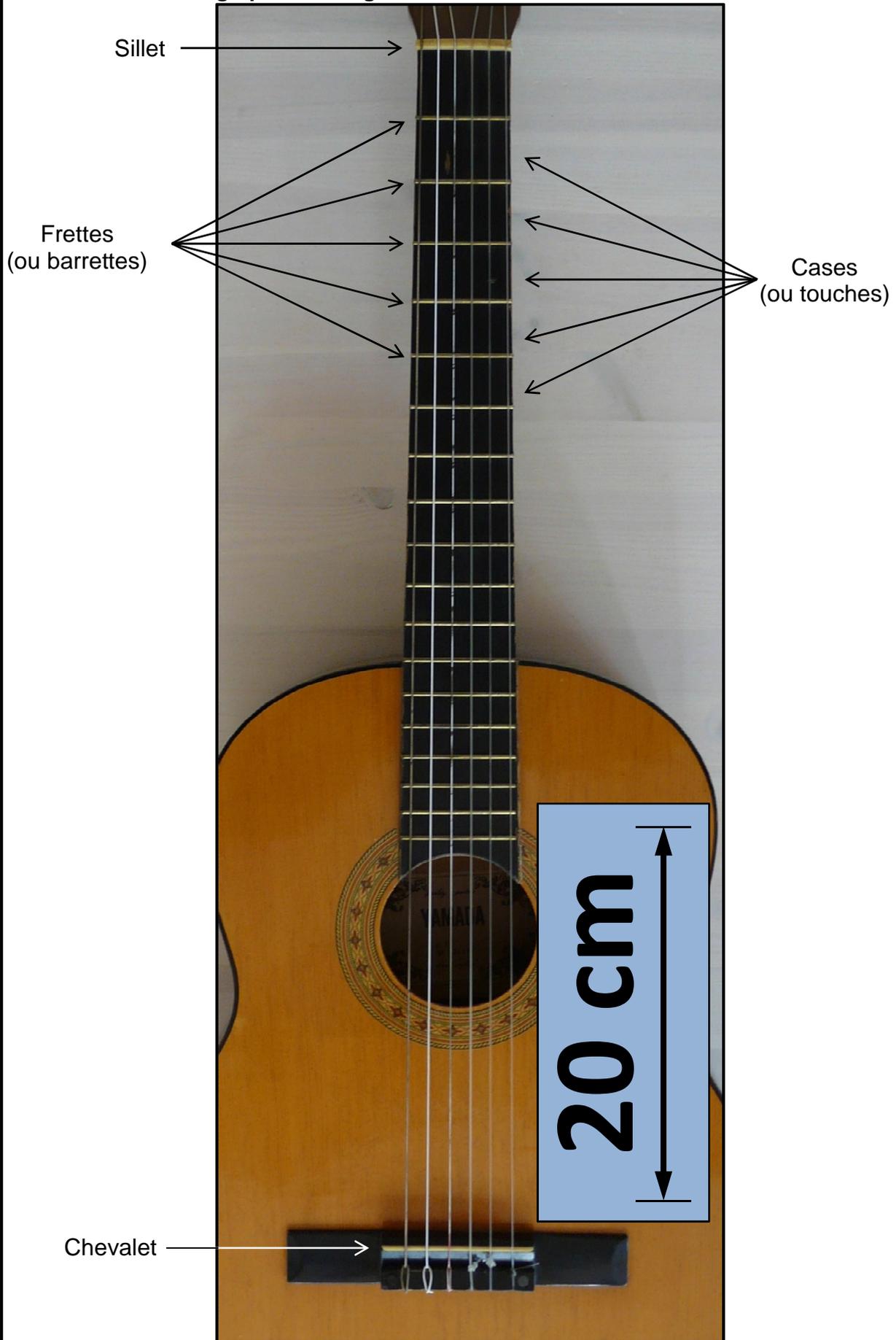
Déterminer les paramètres physiques de la corde dont dépend sa fréquence de vibration et préciser le ou lesquels de ces paramètres restent fixes lors de l'utilisation d'un capodastre.

Problème :

Montrer que lorsqu'on place le capodastre à la troisième case, la corde n°1 joue à vide trois demi-tons au-dessus de celui joué sans capodastre.

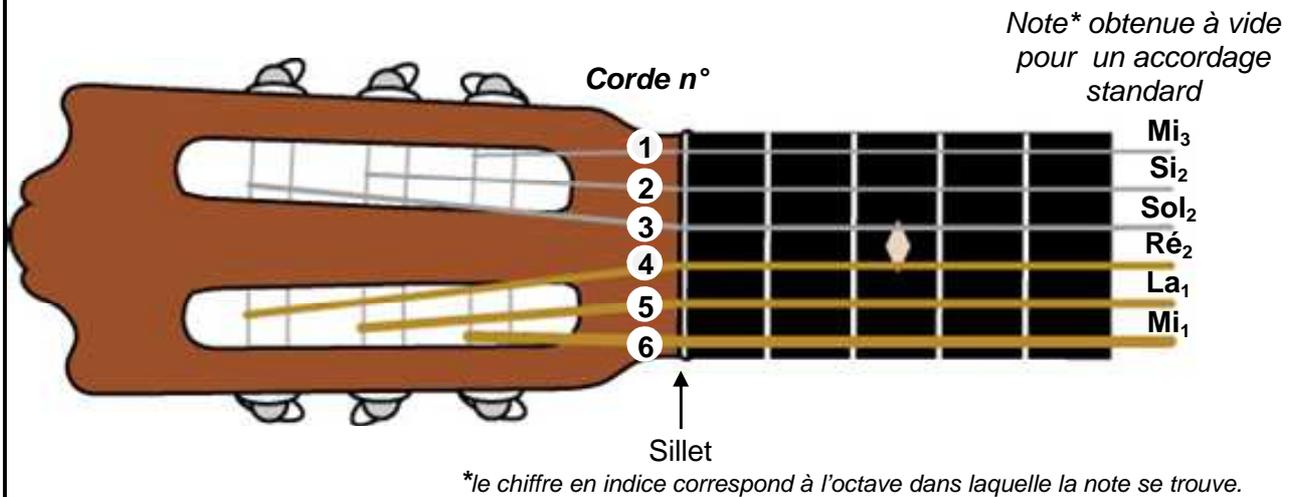
L'analyse des données ainsi que la démarche suivie seront évaluées et nécessitent d'être correctement présentées. Les calculs numériques seront menés à leur terme.

Document 1 : Photographie d'une guitare.



Document 2 : Les cordes

Numéro des cordes d'une guitare et note obtenue lorsque l'on joue chaque corde « à vide » (c'est-à-dire que la corde vibre sur toute sa longueur sans que le musicien ne place ses doigts sur les cases du manche de la guitare)



Reproduction d'une pochette de cordes nylon de guitare classique

EJ46

CORDE	DIAMÈTRE	MASSE LINÉIQUE	TENSION
	mm	g/m	N
n°1 - Mi ₃	0.72	0.419	74.85
n°2 - Si ₂	0.83	0.551	55.23
n°3 - Sol ₂	1.04	0.867	54.74
n°4 - Ré ₂	0.76	2.041	72.30
n°5 - La ₁	0.91	3.794	75.44
n°6 - Mi ₁	1.12	7.384	67.69

Document 3 : Comment la gamme tempérée est-elle bâtie ?

La gamme tempérée, ou plus exactement la gamme à tempérament égal, divise l'octave en douze demi-tons, ou intervalles chromatiques, selon la séquence suivante : *do, do dièse, ré, ré dièse, mi, fa, fa dièse, sol, sol dièse, la, la dièse, si*. Pour passer d'une de ces notes à la suivante, on multiplie la fréquence par 1,059 (racine douzième de 2 pour les mathématiciens), ce qui revient à monter le son d'un demi-ton. Quand on a multiplié douze fois par 1,059, c'est-à-dire par 2, on tombe dans l'octave suivante. On reprend alors la séquence : *do, do dièse, ré, ré dièse, mi, fa, fa dièse, sol, sol dièse, la, la dièse, si*.

D'après « *Les sons en 150 questions* »

Fréquence des notes de la gamme tempérée

Notes	Fréquences en Hertz par octave		
	1	2	3
Do	65,41	130,81	261,63
Ré	73,52	146,83	293,66
Mi	82,41	164,81	329,63
Fa	87,31	174,61	349,23
Sol	98,00	196,00	392,00
La	110,00	220,00	440,00
Si	123,47	246,94	493,88

Document 4 : Les vibrations d'une corde idéale

[...] Il y a une relation incontournable : celle qui donne la hauteur de son d'une corde en fonction de tout le reste (longueur, tension, etc) [...].

On montre que la fréquence fondamentale f d'une corde tendue, la longueur L , sa tension T et sa masse linéique μ (masse d'une longueur de corde d'un mètre) sont reliés par :

$$f = \frac{1}{2L} \cdot \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

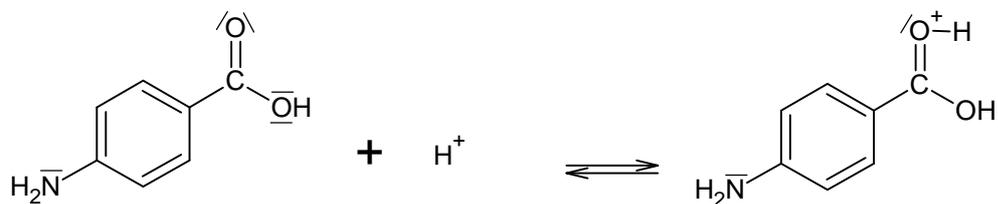
qui donne la fréquence fondamentale de la vibration transversale. Elle montre par exemple qu'à tension et longueur données, une corde plus lourde sonnera plus grave.

Adapté de « *Le guide du Cordage* »

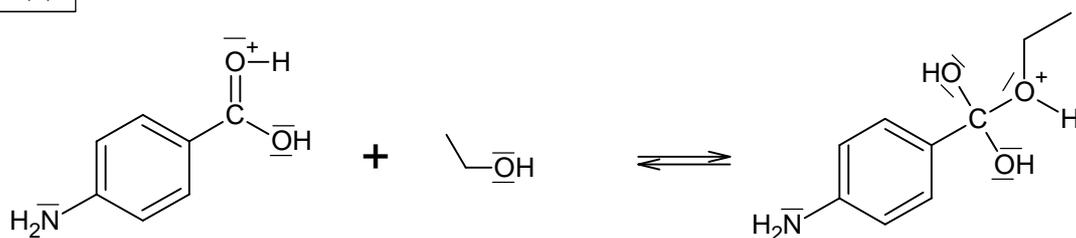
Annexe à rendre avec la copie

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

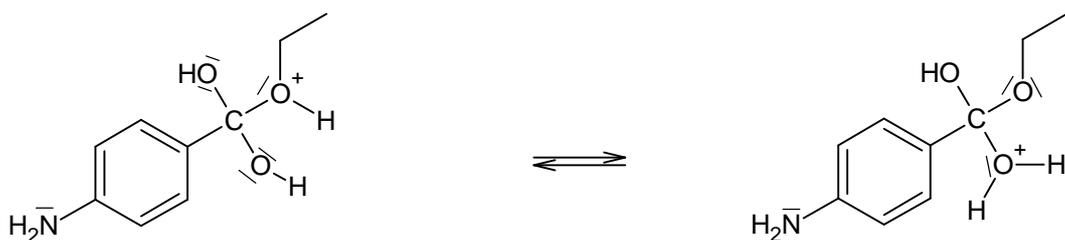
Étape (1)



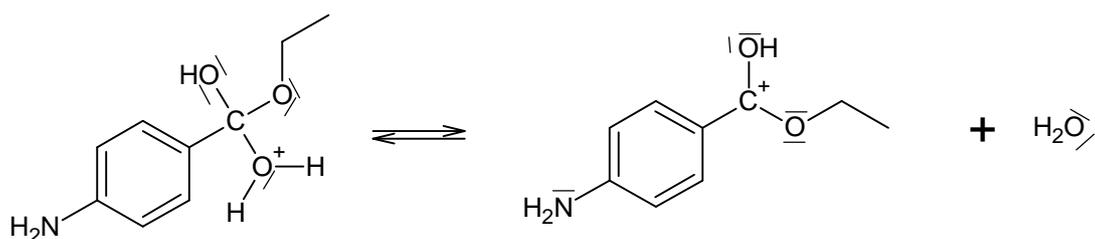
Étape (2)



Étape (3)



Étape (4)



Étape (5)

