

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2017

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

Épreuve du mercredi 31 mai

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 11 pages numérotées de 1/11 à 11/11, y compris celle-ci.

Documents à rendre avec la copie :

Annexe de l'exercice IIpage 11/11.

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

EXERCICE I : LA MÉCANIQUE AU SERVICE DE LA PÉTANQUE (5 points)

La pétanque est un jeu de boules dérivé du jeu provençal aussi appelé "la longue". Le but du jeu consiste tout simplement à lancer la boule le plus près possible du "but" matérialisé par le bouchon. Le terrain de jeu est horizontal.

Au début d'une partie de pétanque, un joueur trace un cercle sur le sol, il se place dans ce cercle et lance le bouchon à une distance entre 6 et 10 mètres de ce cercle.

Les joueurs de pétanque ont le choix entre *pointer* c'est-à-dire tenter de placer leur boule plus près du but que l'adversaire ou *tirer* c'est-à-dire déplacer la boule adverse pour l'éloigner du "but" et remporter le point.

Le pointeur joue avec des boules de petit diamètre (71 à 74 mm) pour offrir moins de surface au tireur, assez lourdes pour un meilleur contrôle (710 à 740 g). Le tireur joue avec des boules de gros diamètre (74 à 78 mm), légères afin de limiter la fatigue (670 à 700 g),

D'après <http://www.la boule bleue.fr>

Cet exercice aborde l'étude d'un lancer d'une boule par un pointeur, puis par un tireur. Dans tout l'exercice, les frottements seront négligés.

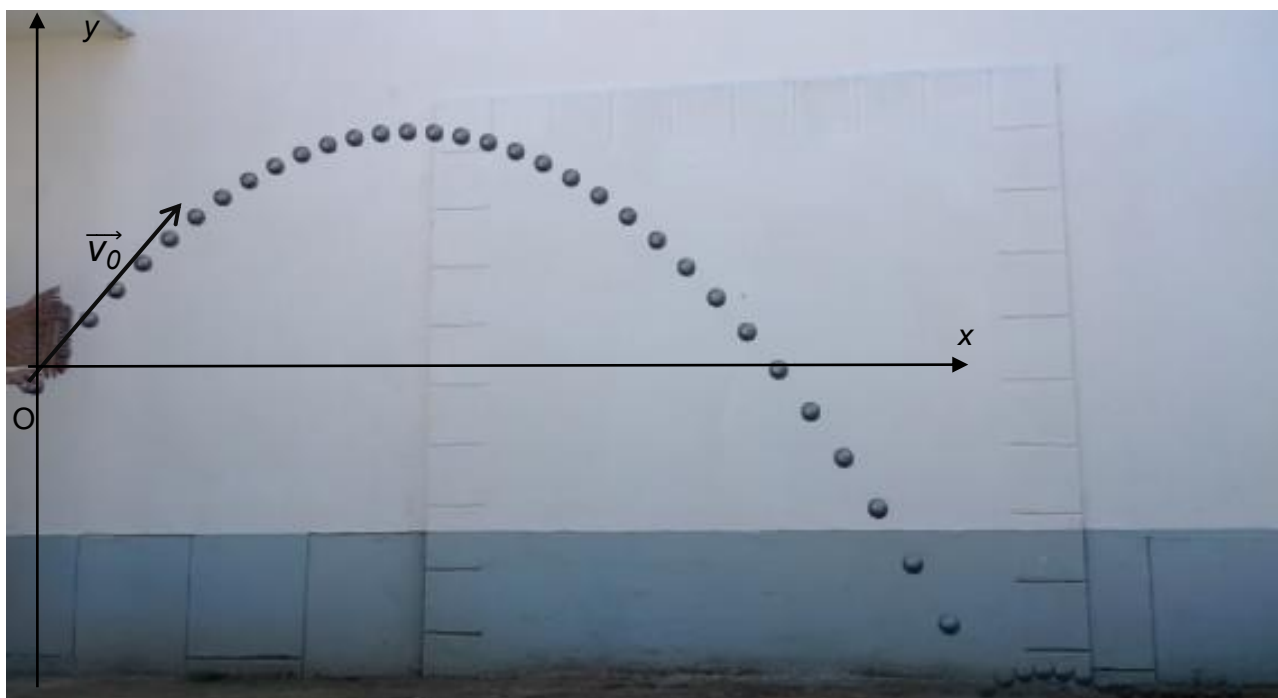
Partie A - Le pointeur

Le pointeur lance sa boule de masse $m = 710$ g avec une vitesse initiale \vec{V}_0 faisant un angle α par rapport à l'horizontale. L'origine O est prise au point où le pointeur lâche la boule. Le modèle de la chute libre conduit aux équations horaires du mouvement du centre G de la boule dans le repère (O, x, y) :

$$\begin{cases} x = V_0 \cdot \cos(\alpha) \cdot t \\ y = -\frac{1}{2} g \cdot t^2 + V_0 \cdot \sin(\alpha) \cdot t \end{cases}$$

Donnée : intensité du champ de pesanteur sur Terre : $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$

1. On réalise la chronophotographie du mouvement de la boule lancée par le pointeur. Cette chronophotographie est représentée ci-dessous ; l'intervalle de temps entre deux prises de vue est de 33,3 ms.



Quelques coordonnées du centre de la boule de pétanque

Date t (s)	x (m)	y (m)
0,000	0,000	0,000
0,033	0,117	0,117
0,067	0,243	0,243
0,100	0,346	0,360

- 1.1. Déterminer, à partir de la chronophotographie, la valeur de l'angle α entre l'horizontale et le vecteur vitesse à l'origine des dates en précisant la méthode choisie.
- 1.2. En exploitant le modèle de la chute libre et en utilisant les résultats expérimentaux, déterminer la valeur de la vitesse initiale V_0 .
2. Le pointeur lance la boule en direction du bouchon et la lâche au point O origine du repère choisi. Le point O est situé à une hauteur de 1,2 m du sol.
 - 2.1. Montrer que la boule suit une trajectoire parabolique d'équation :

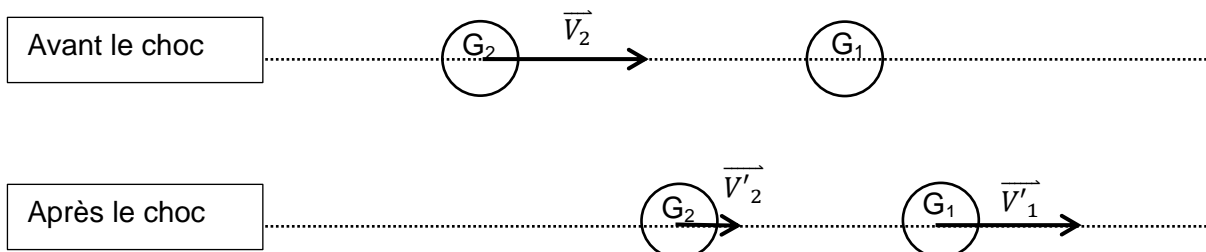
$$y = -\frac{1}{2}g \frac{x^2}{(V_0 \cdot \cos(\alpha))^2} + \tan(\alpha) \cdot x$$
 - 2.2. Pour un angle α de 51° et une vitesse initiale de valeur égale à $5,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, la boule touche le sol, puis roule vers le bouchon. Calculer l'abscisse du point d'impact de la boule avec le sol.

Partie B - Le tireur

La boule lancée par le pointeur étant proche du bouchon, le tireur de l'équipe adverse va chercher à la déplacer. Le tireur lance sa boule à quelques centimètres de la boule visée ; la boule du tireur roule puis percute la boule du pointeur de plein fouet avec une vitesse $V_2 = 8,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Dans le référentiel terrestre, après le choc, les deux boules, de masses respectives m_1 et m_2 , possèdent les vecteurs vitesse \vec{V}'_1 et \vec{V}'_2 portés par la même direction.

On étudie le cas de figure du choc donné par le schéma suivant :



1. Lors de ce choc, deux grandeurs se conservent et permettent d'écrire les relations suivantes :

$$m_2 \cdot \vec{V}_2 = m_1 \cdot \vec{V}'_1 + m_2 \cdot \vec{V}'_2$$

$$\frac{1}{2} m_2 \cdot V_2^2 = \frac{1}{2} m_1 \cdot (V'_1)^2 + \frac{1}{2} m_2 \cdot (V'_2)^2$$

Nommer les deux grandeurs dont la conservation est exprimée par ces relations.

2. La résolution du système précédent permet d'écrire les relations vectorielles suivantes :

$$\vec{V}'_1 = \frac{2 m_2}{m_1 + m_2} \cdot \vec{V}_2 \quad \text{et} \quad \vec{V}'_2 = \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} \cdot \vec{V}_2$$

À partir de ces relations vectorielles, associer les relations A, B et C comparant les masses aux trois propositions 1, 2 et 3 :

$m_1 = m_2$	A
$m_1 > m_2$	B
$m_1 < m_2$	C

1	la boule G_2 repart en sens inverse
2	la boule G_2 suit la boule G_1
3	les boules échangent leurs vitesses

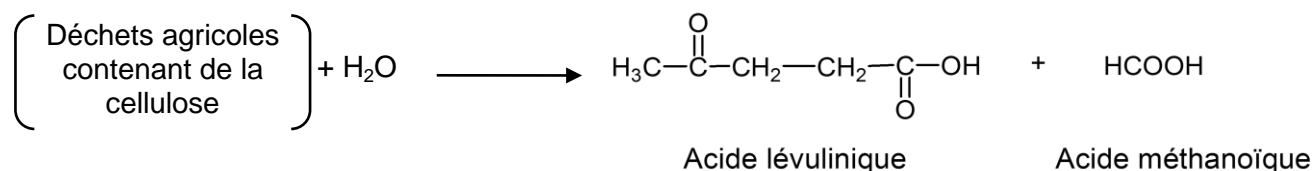
Reporter vos réponses sur votre copie et justifier chaque choix.

3. Que se passe-t-il si la masse m_1 est très largement supérieure à la masse m_2 ?

EXERCICE II : L'ACIDE LÉVULINIQUE, UNE MOLÉCULE QUI A DE L'AVENIR (10 points)

Cet exercice porte sur l'optimisation de la synthèse de l'acide lévulinique et sur la transformation de l'acide lévulinique en valérolactone.

L'acide lévulinique est synthétisé à partir de la cellulose présente dans les déchets agricoles. Il s'agit d'une molécule « plateforme » au sens où elle peut mener, par différentes transformations chimiques, à de nombreux produits d'intérêts tels que les composés pharmaceutiques, les plastiques, les parfums... Elle pourrait même remplacer à terme le pétrole comme matière première de l'industrie chimique.

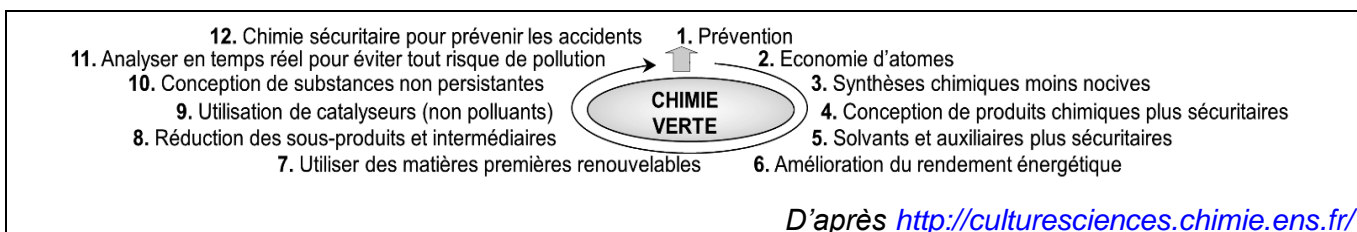


La cellulose est une macromolécule de formule brute $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$ constituée d'une succession de n motifs.

Données :

	Motif de la cellulose	Acide lévulinique	Acide méthanoïque	Valérolactone
Masse molaire M ($\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$)	162,1	116,1	46,0	100,1
Masse volumique ρ ($\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)	1,50	1,14	1,22	1,05

➤ Les 12 principes de la chimie verte :



➤ Table des nombres d'onde :

Liaison	Nombre d'onde (cm^{-1})	Intensité F : fort ; m : moyen	Famille
$\text{C}_{\text{tet}}-\text{H}$	2850-3000 et 1430-1480	F	Alcane
$\text{O}-\text{H}_{\text{lié}}$	3200-3400	F (large)	Alcool
$\text{O}-\text{H}_{\text{lié}}$	2500-3200	F à m (large)	Acide carboxylique
$\text{C}_{\text{tri}}=\text{O}$	1700-1740	F	Cétone
$\text{C}_{\text{tri}}=\text{O}$	1700-1725	F	Acide carboxylique
$\text{C}_{\text{tri}}=\text{O}$	1735-1750	F	Ester

C_{tet} : carbone tétraogonal (tétraédrique)

C_{tri} : carbone trigonal

1. Optimisation du protocole de synthèse de l'acide lévulinique

Pour optimiser la synthèse de l'acide lévulinique, les chercheurs ont réalisé 6 synthèses en faisant varier différents paramètres.

Protocole général

Chaque synthèse a été réalisée sous agitation à 200 °C. Un volume d'eau $V = 24$ mL contenant le catalyseur en quantité désirée a été mélangé à une masse $m = 1,75$ g de matière première (déchets agricoles) réduite en poudre sous atmosphère inerte de diazote.

Les résultats des synthèses numérotées de 1 à 6 sont regroupés dans le tableau ci-dessous.

Synthèse	Matière première	Teneur en cellulose (% massique)	Irradiation micro-ondes	Durée de la synthèse (min)	Catalyseur (quantité en mol pour 1 mole de cellulose)	Rendement de la synthèse (%)
1	Branches d'olivier non productrices d'olives	39,4	Oui	15	0,0115 Acide chlorhydrique	51
2	Sciure de peuplier	57,6	Non	60	0,0115 Acide chlorhydrique	37
3	Sciure de peuplier	57,6	Oui	15	0,0115 Acide chlorhydrique	45,8
4	Boues de papier	57,1	Non	60	0,0115 Acide chlorhydrique	55,1
5	Boues de papier	57,1	Oui	15	0,0115 Acide chlorhydrique	55,5
6	Boues de papier	57,1	Non	60	0,0115 Acide sulfurique	26,5

d'après Galetti et al. (2012). Levulinic Acid from waste, BioResources.

- 1.1. Citer les paramètres que les chercheurs ont fait varier pour optimiser cette synthèse.
- 1.2. Identifier le paramètre favorisant le rendement de la synthèse qui est mis en évidence dans les synthèses 2 et 3. Justifier.
- 1.3. Identifier le paramètre ayant une influence sur le rendement de la synthèse qui est mis en évidence par les synthèses 2 et 4. Préciser son influence.
- 1.4. Quel catalyseur est-il préférable de choisir ? Justifier.
- 1.5. Quelle expérience, parmi celles proposées, correspond à la synthèse de l'acide lévulinique la plus « verte » possible ? Justifier.

- 1.6. Si le rendement était de 100 %, on obtiendrait une mole d'acide lévulinique pour une mole d'un motif de cellulose transformée. Déterminer la masse expérimentale m_{exp} réellement obtenue en acide lévulinique dans l'expérience 5.

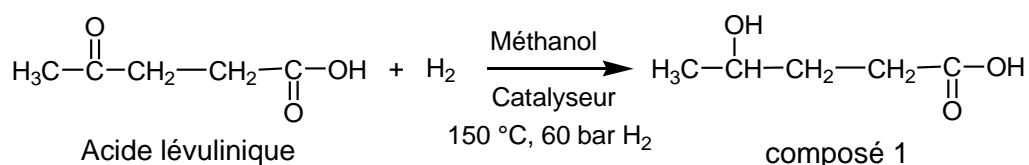
2. Transformation de l'acide lévulinique en valérolactone

La valérolactone est un précurseur de nombreux composés pharmaceutiques permettant de lutter, par exemple, contre l'hypertension ou la leucémie. L'objectif de cette partie est d'étudier deux voies de synthèse de la valérolactone.

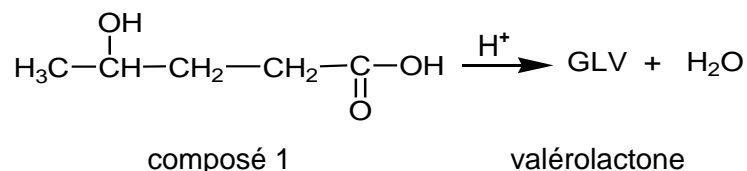
2.1. Étude théorique d'une première voie de synthèse de la valérolactone

La valérolactone peut être synthétisée directement à partir de l'acide lévulinique par deux réactions successives 1 et 2 dont les équations sont données ci-après :

réaction 1



réaction 2



- 2.1.1. Recopier l'équation de la réaction 1 en utilisant les formules topologiques. Entourer les groupes caractéristiques et nommer les fonctions correspondantes.
- 2.1.2. À quelle catégorie de réaction, la réaction 1 appartient-elle ?
- 2.1.3. Recopier la formule semi-développée de l'acide lévulinique sur votre copie, entourer les groupes de protons équivalents et prédire la multiplicité du signal en RMN du proton pour chaque groupe de protons.
- 2.1.4. Expliquer comment les chercheurs peuvent s'assurer de l'existence du composé 1, à la fin de la réaction 1, par spectroscopie infrarouge (IR) et par résonance magnétique nucléaire du proton (RMN).
- 2.1.5. Au cours de la réaction 1, deux stéréoisomères du composé 1 sont obtenus. Donner les représentations de Cram de ces deux stéréoisomères. Par quelle relation de stéréoisomérisation sont-ils liés ? Justifier.
- 2.1.6. La réaction 2 est une estérification particulière : la molécule du composé 1 possède les deux fonctions qui peuvent réagir entre elles pour donner un ester cyclique, la valérolactone. Sur une partie du mécanisme simplifié d'estérification intramoléculaire donné en **annexe à rendre avec la copie**, compléter les étapes a et b à l'aide du formalisme des flèches courbes.

2.2. Étude de la deuxième voie de synthèse sélective d'un stéréoisomère de la valérolactone

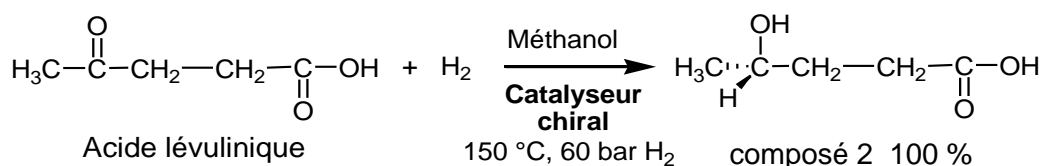
Dans une publication de juillet 2015, des chercheurs expliquent comment ils sont parvenus à synthétiser de manière préférentielle l'un des stéréoisomères de la valérolactone à l'aide d'un catalyseur chiral. Deux réactions chimiques successives mènent à ce stéréoisomère.

Protocole de la synthèse sélective du stéréoisomère de la valérolactone

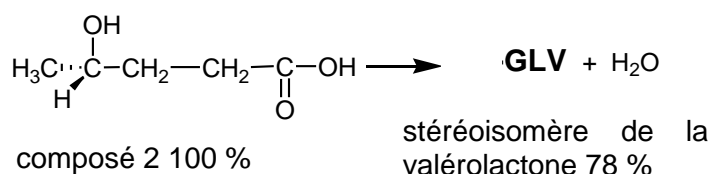
Un volume $V = 0,75$ mL d'une solution méthanolique d'acide lévulinique à la concentration massique $C_m = 785$ g·L⁻¹ est placé sous une atmosphère chargée en dihydrogène (H₂) à la pression $P = 60$ bar et chauffé à une température de 150 °C en présence de 0,009 mmol du catalyseur chiral sous agitation pendant 20 h. Après traitement du milieu réactionnel et purification, un volume $V' = 0,38$ mL du stéréoisomère de la valérolactone est obtenu sous la forme d'un liquide incolore.

Les équations des deux réactions sont données par :

réaction 1'



réaction 2'



D'après József M. Tukacs et al. 2015. Direct asymmetric reduction of levulinic acid to γ -valerolactone: synthesis of a chiral platform molecule, Green Chem.

- 2.2.1. Justifier la nécessité de trouver des synthèses ne menant qu'à un seul stéréoisomère dans l'industrie pharmaceutique.
- 2.2.2. Quelle est la quantité initiale n_{acide} d'acide lévulinique transformée lors de cette synthèse ?
- 2.2.3. Calculer le volume maximal théorique V_{max} de valérolactone susceptible d'être obtenu lors de cette synthèse si le rendement des deux réactions était de 100 % et le dihydrogène H₂ introduit en excès. Le volume V réellement obtenu du stéréoisomère de la valérolactone est-il compatible avec le rendement de 78% de la réaction 2' indiqué dans la publication ?

EXERCICE III : ÉTUDE D'UN INSTRUMENT À VENT (5 points)

Le hautbois est présent dans de nombreux orchestres. Autrefois en bambou ou en roseau, il est aujourd'hui fabriqué en ébène ou en palissandre, bois beaucoup plus résistants.

D'une soixantaine de centimètres de longueur, il fait partie de la famille des instruments à vent : le son est produit par la mise en vibration du tube d'air ainsi constitué.



<http://www.instrumentsdumonde.fr/instrument/105-Hautbois.html>

On propose, dans cet exercice d'étudier, avec un modèle simplifié, le fonctionnement d'un hautbois.

Questions préliminaires

1. Montrer que la fréquence fondamentale dans un hautbois est égale à $f_1 = \frac{v}{4L}$,
v étant la vitesse de l'onde sonore dans le tube.
2. Quelle devrait être la longueur d'un hautbois si l'on voulait jouer la note Mi_1 (note Mi à l'octave 1) lorsque tous les trous sont bouchés ? Commenter le résultat.

Problème

La position des trous jouent sur la longueur effective L du tube dans lequel les ondes se propagent. Un trou ouvert diminue la longueur de ce tube. On considère que l'on a une extrémité ouverte au niveau du trou ouvert.

Le hautbois étudié a maintenant un tube de longueur 66,8 cm quand tous les trous sont bouchés.

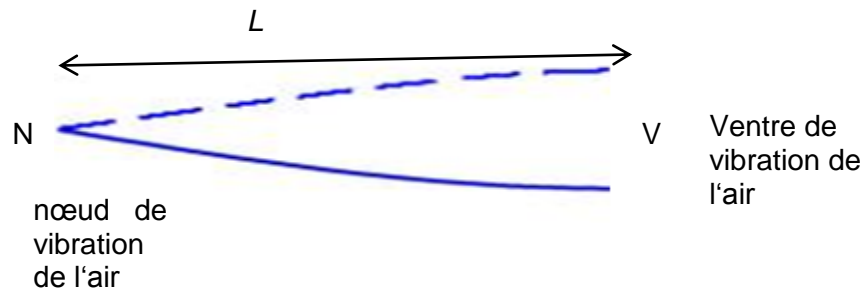
Quelle doit être la longueur du tube pour jouer la note Fa à l'octave 2 ?

Données :

- vitesse de l'onde sonore dans les conditions d'étude : 350 m.s^{-1} ;
- conditions aux limites dans un tube d'air : l'extrémité d'un tube d'air fermé est le siège d'un nœud de vibration alors que l'extrémité ouverte sera le siège d'un ventre de vibration.

Document 1 : modes de vibration de la colonne d'air dans un hautbois

- Pour le hautbois, le tube est modélisé par une cavité fermée au niveau de l'anche et ouverte au niveau du pavillon.
- Pour le mode de vibration fondamental, la longueur L du tube est égale à un quart de longueur d'onde de l'onde.



Document 2 : Notes et octaves

En musique, une octave est l'intervalle séparant deux sons dont la fréquence de l'un vaut le double de la fréquence de l'autre. Monter d'une octave correspond à doubler la fréquence de la note.

Fréquences (en Hz) des quelques notes à l'octave 1 :

Do ₁	Ré ₁	Mi ₁
65,4	73,3	82,4

Document 3 : Demi-ton

Dans la musique occidentale, le demi-ton désigne le plus petit intervalle séparant deux notes successives de la gamme tempérée de la même octave.

Notes	Do	Do#	Ré	Ré#	Mi	Fa	Fa#	Sol	Sol#	La	La#	Si	Do
-------	----	-----	----	-----	----	----	-----	-----	------	----	-----	----	----

À partir de l'extrémité du pavillon, un raccourcissement de la longueur du tube de 6 % fait monter la note d'un demi-ton.

ANNEXE DE L'EXERCICE II À RENDRE AVEC LA COPIE : Mécanisme d'estérification de la réaction 2

