

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

Session 2013

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

Enseignement Obligatoire

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

L'usage des calculatrices est autorisé.

Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré.

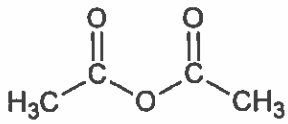
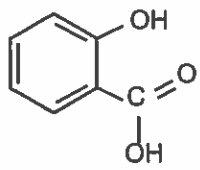
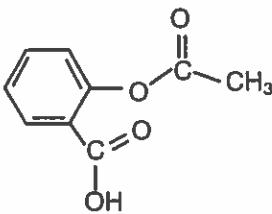
Ce sujet comporte 14 pages numérotées de 1/14 à 14/14

EXERCICE I : ASPIRINE ET PRÉVENTION CARDIOVASCULAIRE (8,5 points)

L'une des propriétés pharmacologiques de l'aspirine est d'être un fluidifiant du sang. C'est pourquoi l'aspirine peut être utilisée de manière préventive pour diminuer le risque de formation de caillots sanguins responsables des accidents vasculaires cérébraux (AVC).

L'aspirine est alors prescrite à faible dose : 75 à 150 mg / jour.

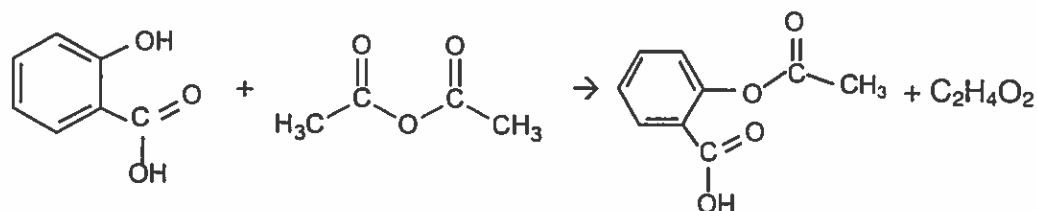
Données :

Nom	Formule de la molécule	Propriétés
Anhydride éthanoïque (ou acétique)		<ul style="list-style-type: none"> • Masse molaire : 102 g.mol⁻¹ • Masse volumique : $\mu = 1,082 \text{ kg.L}^{-1}$ • Liquide incolore d'odeur piquante • Température d'ébullition sous pression normale : 136,4 °C • Soluble dans l'eau et l'éthanol
Acide salicylique		<ul style="list-style-type: none"> • Masse molaire : 138 g.mol⁻¹ • Solide blanc • Température de fusion 159 °C • Peu soluble dans l'eau à froid, soluble à chaud. • Très soluble dans l'alcool et l'éther
Aspirine		<ul style="list-style-type: none"> • Masse molaire : 180 g.mol⁻¹ • Solide blanc, se décompose à la chaleur à partir de 128 °C • Solubilité dans l'eau : 3,3 g.L⁻¹ à 25 °C • Très soluble dans l'éthanol

Les parties 1, 2, 3, 4 de l'exercice sont indépendantes.

1. Synthèse de l'aspirine

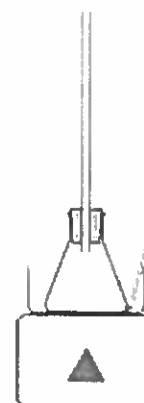
L'aspirine peut être synthétisée à partir d'acide salicylique et d'anhydride éthanoïque. L'équation de la réaction est :



La chromatographie sur couche mince (CCM) est l'une des techniques qui permet de contrôler la réaction chimique.

Protocole :

- Préparer un bain-marie à la température de 70°C ;
- Dans un erlenmeyer, bien sec, sous la hotte, introduire :
 - 10,0 g d'acide salicylique ;
 - 14,0 mL d'anhydride acétique ;
 - quelques grains de pierre ponce.
- Réaliser un premier prélèvement du milieu réactionnel en vue d'une analyse par CCM ;
- Adapter un réfrigérant à air sur l'erlenmeyer ;
- À la date $t = 0$, placer l'erlenmeyer dans le bain-marie ;
- Laisser réagir pendant une vingtaine de minutes tout en réalisant quatre nouveaux prélèvements du milieu réactionnel toutes les quatre minutes.



1.1. Obtention de l'aspirine :

- 1.1.1. Montrer que l'anhydride éthanoïque est introduit en excès.
- 1.1.2. Calculer la masse attendue d'aspirine lors de cette synthèse.

1.2. Suivi par chromatographie :

- 1.2.1. Proposer un protocole expérimental pour réaliser les différentes chromatographies afin, notamment, de s'assurer de la formation de l'aspirine. La liste du matériel et des produits disponibles est proposée dans le **document 1** ci-dessous.

Document 1 : matériel disponible pour effectuer la chromatographie.

Plaques pour CCM - capillaires - éluant - cuve à chromatographie - aspirine pur du commerce dissous dans un solvant - acide salicylique pur dissous dans un solvant - lampe UV ou solution de permanganate de potassium.

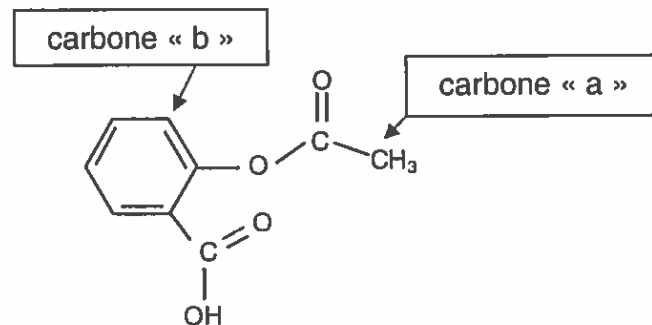
- 1.2.2. Quelles particularités doit présenter le chromatogramme obtenu avec le dernier prélèvement, en admettant que le système réactionnel est alors dans son état final ?

2. Analyse spectrale des espèces chimiques intervenant dans la synthèse de l'aspirine

2.1. Spectre RMN de la molécule d'aspirine.

2.1.1. Recopier la formule de la molécule d'aspirine et identifier les deux groupes caractéristiques présents dans cette molécule. Les nommer.

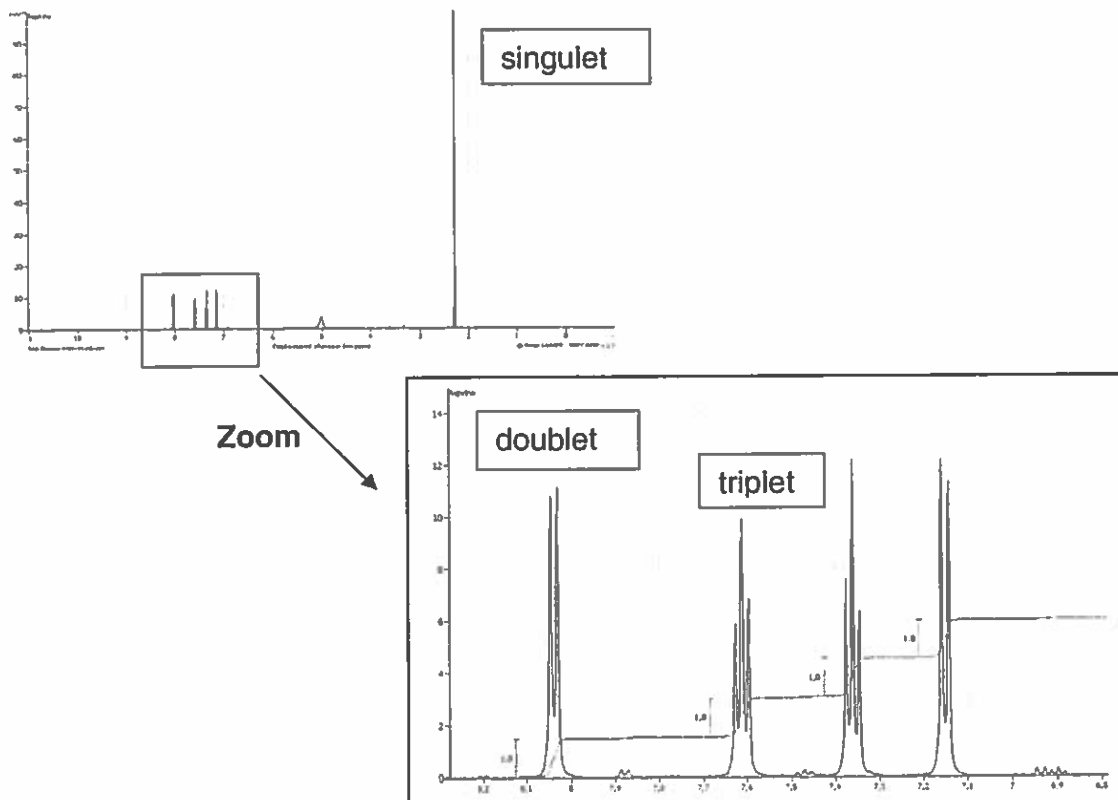
2.1.2. Deux carbones particuliers sont repérés par les lettres « a » et « b » dans la formule de la molécule d'aspirine reproduite ci-dessous :



Expliquer pourquoi les atomes d'hydrogène liés au carbone « a » correspondent au singulet du spectre RMN de la molécule d'aspirine reproduit dans le **document 2** ci-après.

Justifier de même que le doublet de ce spectre RMN correspond à l'atome d'hydrogène lié au carbone « b ».

Document 2 : spectre RMN de la molécule d'aspirine.



2.2. Spectre IR de la molécule d'acide éthanoïque.

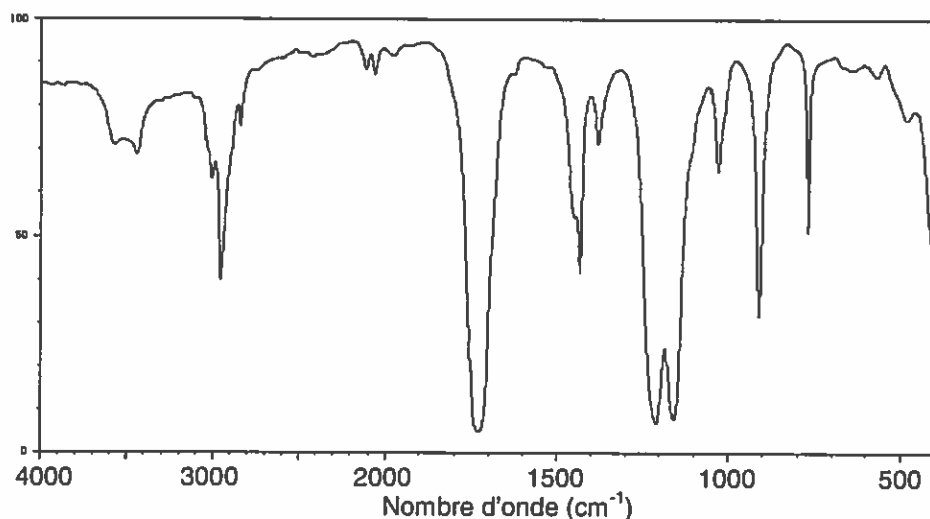
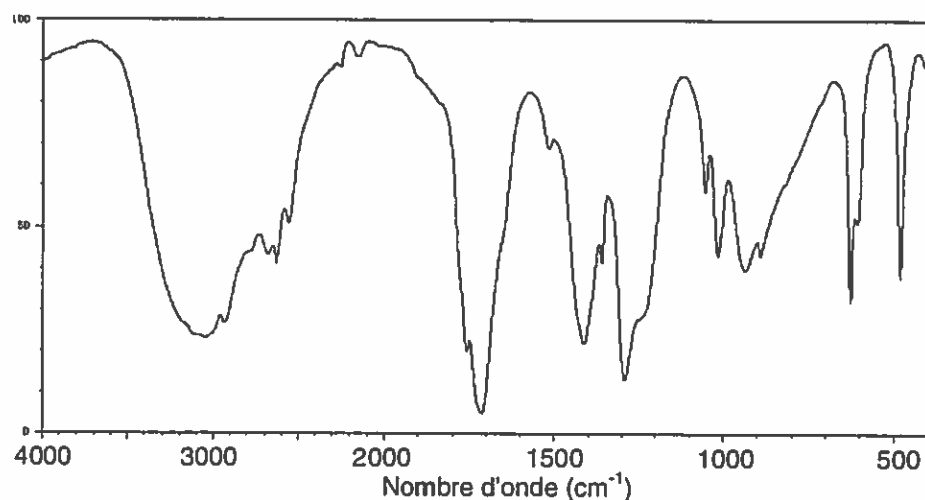
L'autre produit issu de la synthèse de l'aspirine est l'acide éthanoïque de formule brute $C_2H_4O_2$.

2.2.1. Donner la formule semi-développée de l'acide éthanoïque et du méthanoate de méthyle qui est un isomère de l'acide éthanoïque.

2.2.2. Les spectres infrarouges de ces deux espèces chimiques sont regroupés dans le **document 3** ci-dessous. Une table de données de spectroscopie infrarouge est également fournie (**document 4**).

Identifier celui qui appartient à l'acide éthanoïque en justifiant.

Document 3 : spectres IR de l'acide éthanoïque et du méthanoate de méthyle.



Document 4 : table de données pour la spectroscopie IR.

famille	liaison	nombres d'onde (cm ⁻¹)
cétone	C = O	1705 - 1725
aldéhyde	C _{tri} -H	2700 - 2900
	C = O	1720 - 1740
Acide carboxylique	O - H	3200 - 2500
	C = O	1740 - 1800
Ester	C = O	1730 - 1750
Alcool	O - H _{lié}	3200 - 3450
	O - H _{libre}	3600 - 3700

3. Dosage d'un sachet d'aspirine

L'étiquette d'un sachet d'aspirine prescrit au titre de la prévention des AVC porte la mention : « Teneur en aspirine : 100 mg »

Un élève se propose de vérifier la teneur en aspirine, notée HA, de ce sachet.

Pour cela, il prépare une solution S en introduisant l'aspirine contenue dans le sachet dans une fiole jaugée, puis en ajoutant de l'eau distillée pour obtenir une solution de volume 500,0 mL.

Il prélève ensuite un volume $V_A = (100,0 \pm 0,1)$ mL de cette solution S qu'il dose avec une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium ($\text{Na}^+_{(\text{aq})} + \text{HO}^-_{(\text{aq})}$) de concentration molaire $c_B = (1,00 \pm 0,02) \times 10^{-2}$ mol.L⁻¹ en présence de phénolphtaléine. Le volume V_E de solution aqueuse d'hydroxyde de sodium versé pour atteindre l'équivalence est : $V_E = 10,7 \pm 0,1$ mL.

3.1. Écrire l'équation de la réaction acido-basique support de ce dosage.

3.2. Déterminer la masse m_{exp} d'aspirine ainsi déterminée.

3.3. Déterminer l'incertitude relative $\frac{\Delta m_{\text{exp}}}{m_{\text{exp}}}$ dont on admet que, dans les conditions de l'expérience, la valeur est donnée par la relation :

$$\left(\frac{\Delta m_{\text{exp}}}{m_{\text{exp}}}\right)^2 = \left(\frac{\Delta V_E}{V_E}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C_B}{C_B}\right)^2$$

En déduire un encadrement de la masse m_{exp} obtenue par l'élève.

3.4. L'encadrement obtenu à la question précédente est-il en accord avec la mention portée sur le sachet d'aspirine ? Proposer une explication à l'écart éventuellement observé.

4. Autre forme d'aspirine, moins agressive pour l'estomac

L'aspirine ou (acide acétylsalicylique) possède une base conjuguée, l'ion acétylsalicylate. Le pKa du couple acide/base ainsi constitué est égal à 3,5.

- 4.1. Lors de la digestion, le pH de l'estomac est voisin de 2. Quelle est la forme prédominante du couple aspirine/ion acétylsalicylate dans l'estomac ? Justifier.
- 4.2. Quand l'aspirine reste trop longtemps sous cette forme prédominante dans l'estomac, elle y provoque des lésions gastriques. C'est pourquoi on trouve dans le commerce des formulations différentes, moins agressives pour la paroi de l'estomac, comme la catalgine.

Catalgine (acétylsalicylate de sodium)

- Le médicament est soluble dans l'eau et l'ingestion est facilitée.
- Dans l'estomac, dont le pH est très acide, les ions acétylsalicylate réagissent avec les ions H_3O^+ pour redonner de l'aspirine moléculaire qui précipite. Ce précipité, obtenu sous forme de grains microscopiques, est plus rapidement assimilable.

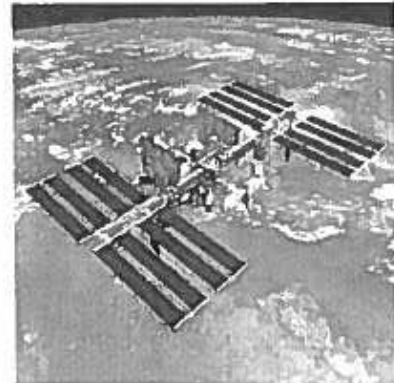
- 4.2.1. Écrire la formule semi-développée de l'ion acétylsalicylate.
- 4.2.2. Expliquer pourquoi la catalgine est soluble dans l'eau.
- 4.2.3. Donner l'équation de la réaction se produisant dans l'estomac après ingestion de catalgine.

EXERCICE II : STATION SPATIALE ISS (6,5 points)
--

La station spatiale internationale ISS (International Space Station) est à ce jour le plus grand des objets artificiels placés en orbite terrestre à une altitude de 400 km.

Elle est occupée en permanence par un équipage international qui se consacre à la recherche scientifique dans l'environnement spatial.

Jusqu'à présent, trois vaisseaux cargos ATV ont permis de ravitailler la station ISS.



Les parties A et B de cet exercice sont indépendantes.

PARTIE A : Étude du mouvement de la station spatiale ISS

La station spatiale internationale, supposée ponctuelle et notée S, évolue sur une orbite qu'on admettra circulaire, dont le plan est incliné de $51,6^\circ$ par rapport au plan de l'équateur. Son altitude est environ égale à 400 km.

Données :

- rayon de la Terre : $R = 6\,380$ km
- masse de la station : $m = 435$ tonnes
- masse de la Terre, supposée ponctuelle : $M = 5,98 \times 10^{24}$ kg
- constante de gravitation universelle : $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2}$
- altitude de la station ISS : h
- expression de la valeur de la force d'interaction gravitationnelle F entre deux corps A et B ponctuels de masses respectives m_A et m_B , distants de $d = AB$:

$$F = G \frac{m_A m_B}{d^2}$$

1. Représenter sur un schéma :

- la Terre et la station S, supposée ponctuelle ;
- un vecteur unitaire \vec{u} orienté de la station S vers la Terre (T) ;
- la force d'interaction gravitationnelle exercée par la Terre sur la station S.

Donner l'expression vectorielle de cette force en fonction du vecteur unitaire \vec{u} .

2. En considérant la seule action de la Terre, établir l'expression vectorielle de l'accélération \vec{a}_s de la station dans le référentiel géocentrique, supposé galiléen, en fonction de G , M , h , R et du vecteur unitaire \vec{u} .

3. Vitesse du satellite.

3.1. Montrer que, dans le cas d'un mouvement circulaire, la valeur de la vitesse de

$$\text{la station a pour expression : } v = \sqrt{\frac{GM}{R+h}} .$$

3.2. Calculer la valeur de la vitesse de la station en m.s^{-1} .

4. Combien de révolutions autour de la Terre un astronaute présent à bord de la station spatiale internationale fait-il en 24 h ?

PARTIE B : Ravitaillement de la station ISS

Le 23 mars 2012, un lanceur Ariane 5 a décollé du port spatial de l'Europe à Kourou (Guyane), emportant à son bord le véhicule de transfert automatique (ATV) qui permet de ravitailler la Station Spatiale Internationale (ISS).

Au moment du décollage, la masse de la fusée est égale à $7,8 \times 10^2$ tonnes, dont environ 3,5 tonnes de cargaison : ergols, oxygène, air, eau potable, équipements scientifiques, vivres et vêtements pour l'équipage à bord de l'ATV.



D'après http://www.esa.int/esaCP/Pr_10_2012_p_FR.html

On se propose dans cette partie d'étudier le décollage de la fusée.

Pour ce faire, on se place dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

À la date $t = 0$ s, le système est immobile.

À la date $t = 1$ s, la fusée a éjecté une masse de gaz notée m_g , à la vitesse \vec{v}_g . Sa masse est alors notée m_f et sa vitesse \vec{v}_f .

Données :

- Intensité de la pesanteur à Kourou : $g = 9,78 \text{ N.kg}^{-1}$
- Débit d'éjection des gaz au décollage : $D = 2,9 \times 10^3 \text{ kg.s}^{-1}$
- Vitesse d'éjection des gaz au décollage : $v_g = 4,0 \text{ km.s}^{-1}$

1. Modèle simplifié du décollage

Dans ce modèle simplifié, on suppose que le système {fusée + gaz} est isolé.

1.1. En comparant la quantité de mouvement du système considéré aux dates $t = 0$ s et t , montrer que :

$$m_f \vec{v}_f = - m_g \vec{v}_g$$

$$\vec{v}_f = - \frac{m_g}{m_f} \vec{v}_g$$

Quelle est la conséquence de l'éjection de ces gaz sur le mouvement de la fusée ?

- 1.2. Après avoir montré numériquement que la variation de la masse de la fusée est négligeable au bout d'une seconde après le décollage, calculer la valeur de la vitesse de la fusée à cet instant.
2. Étude plus réaliste du décollage
- 2.1. En réalité la vitesse v_f est très inférieure à celle calculée à la question 1.1. En supposant que le système {fusée + gaz} est isolé, quelle force n'aurait-on pas dû négliger ?
- 2.2. On considère désormais le système ~~(fusée)~~ Il est soumis à son poids \vec{P} et à la force de poussée \vec{F} définie par $\vec{F} = D \times \vec{v}_g$ où D est la masse de gaz éjecté par seconde.
- 2.2.1. Montrer que le produit $(D \times v_g)$ est homogène à une force.
- 2.2.2. Vérifier par une application numérique que la fusée peut effectivement décoller.

EXERCICE III : CONCERT EN SOUS-SOL (5 points)
--

Trois jeunes musiciens amateurs (un guitariste, un pianiste et un flûtiste) projettent de donner un concert devant leurs amis dans le sous-sol d'une maison. Lors d'une répétition dans ce lieu, ils s'interrogent sur les améliorations à apporter pour éviter une réverbération trop importante.

Les parties 1 et 2 sont indépendantes.

Les documents utiles sont regroupés à la fin de l'exercice.

1. Accord des instruments.

Avant le concert, les musiciens doivent « accorder » leurs instruments. Pour cela, ils utilisent un diapason qui émet la note « La₃ ». Chacun joue cette note sur son instrument, la compare à celle émise par le diapason et procède aux réglages permettant d'obtenir une note de même hauteur.

En utilisant les enregistrements des différents sons produits et leurs spectres, répondre aux questions suivantes :

- 1.1. Quelle est la fréquence f de vibration du son émis par le diapason ?
- 1.2. Les trois musiciens jouent-ils une note de même hauteur ? Justifier.

2. La pièce du sous-sol est-elle une bonne salle de concert ?

Le concert a lieu dans une salle au sous-sol d'une maison. La salle a une forme parallélépipédique, de longueur $L = 10,0$ m, de largeur $l = 5,0$ m et de hauteur $h = 3,0$ m.

Cette salle, vide et sans vitrage, possède une porte en bois de surface $S_{\text{bois}} = 3,0$ m². Le sol, les murs et les plafonds sont en béton d'une surface totale : $S_{\text{béton}} = 187$ m².

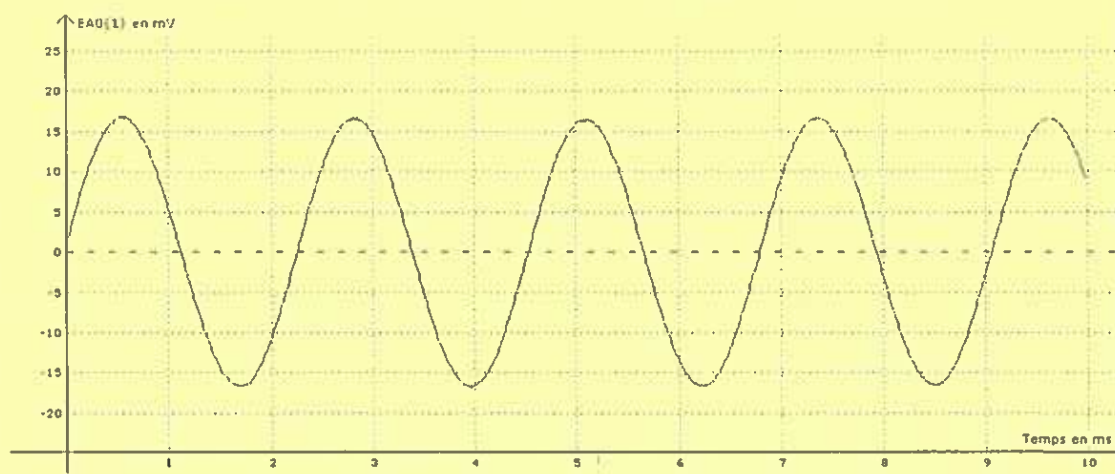
- 2.1. Quels sont les phénomènes physiques qui interviennent au cours de la propagation du son dans une salle ? En citer au moins trois.
- 2.2. Quelle est l'unité du coefficient de valeur 0,16 dans la formule de Sabine (document 7) ?
- 2.3. En l'absence de spectateurs, la pièce du sous-sol est-elle une bonne salle de concert ? Justifier.
- 2.4. On souhaite obtenir une durée de réverbération égale à 2,0 s. Pour cela, on dispose sur les murs des panneaux absorbants verticaux de coefficient d'absorption acoustique $\alpha_{\text{panneau}} = 0,50$.
Quelle surface de panneau faut-il utiliser pour satisfaire la nouvelle durée de réverbération T_R ?

DOCUMENTS DE L'EXERCICE III

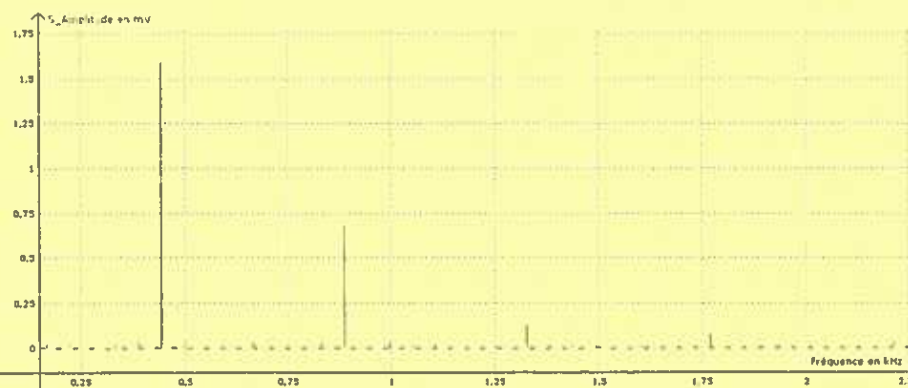
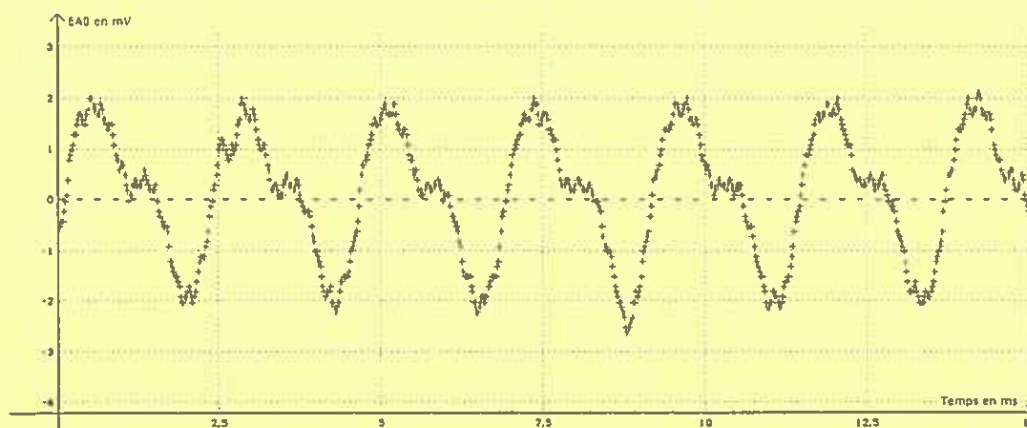
Document 1 : correspondance entre la hauteur et la fréquence associée de quelques notes de la gamme tempérée :

Note	la ₁	la ₂	la ₃	si ₃	do ₄	ré ₄	mi ₄	fa ₄	sol ₄	la ₄
Fréquence (Hz)	110	220	f	494	523	587	659	698	783	880

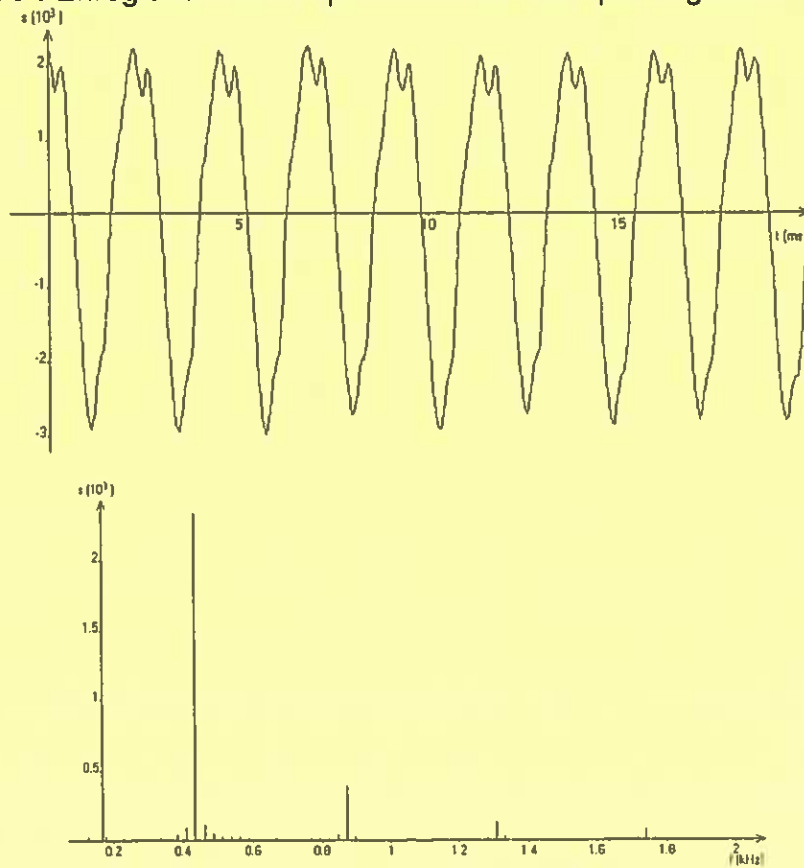
Document 2 : Enregistrement de la note « La₃ » émise par le diapason.



Document 3 : Enregistrement et spectre du son émis par le piano.

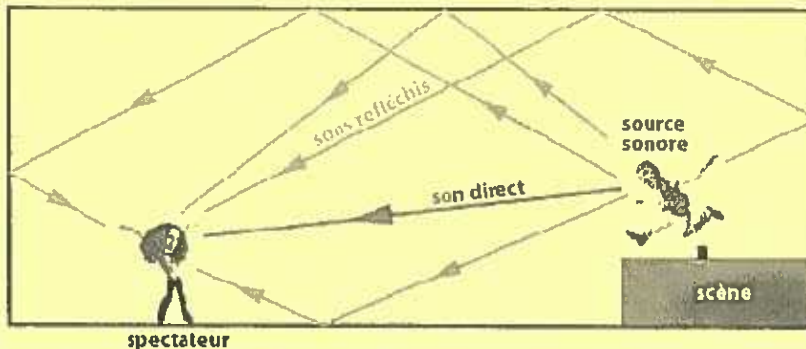


Document 4 : Enregistrement et spectre du son émis par la flûte.

Document 5 : Enregistrement et spectre du son émis par la guitare.


Document 6 : Réverbération d'une salle.

La réverbération est le phénomène qui prolonge l'énergie sonore après un arrêt net de la source sonore. Une onde sonore émise dans une salle se propage dans toutes les directions à la vitesse de 340 m/s. Très rapidement elle rencontre le plafond, le sol et les murs. Selon la nature de ces parois, une fraction de l'énergie acoustique est absorbée et le reste est réfléchi.



En règle générale, l'absorption est plus faible pour les sons graves.

La réverbération n'est pas toujours souhaitée pour un orateur, sauf effets spéciaux. Elle doit être courte pour une bonne compréhension du texte ; au maximum 0,8 seconde. Au-delà, les syllabes se chevauchent et l'intelligibilité diminue.

L'absence de réverbération provoque un rendu sec et dur sur la musique ; on recherche toujours une prolongation du son. Une bonne salle de musique présente une réverbération de 1,0 à 2,5 secondes. L'orgue nécessite une réverbération plus longue : c'est le cas des églises.

D'après <http://www.sonorisation-spectacle.org/reverberation.html>

Document 7 : Durée de réverbération

La durée de réverbération T_R est le temps mis par un son pour décroître de 60 dB après la coupure de la source sonore.

Cette durée T_R se calcule à l'aide la loi de Sabine : $T_R = \frac{0,16 \times V}{A}$

avec V : volume de la salle (en m^3)

A : l'aire de la surface absorbante équivalente de la salle (en m^2)

T_R : durée de réverbération (en s)

On définit la surface équivalente A par : $A = \sum_i (\alpha_i \times S_i)$ où α_i représente le coefficient d'absorption du matériau de surface S_i . Il dépend de la nature du matériau et de la fréquence du son.

Coefficients d'absorption acoustique moyens, α_M , de différents matériaux à une fréquence de 500 Hz.

Matériau	Plâtre	Carrelage	Béton	Bois	Verre	Dalles acoustiques
α_M (pas d'unité)	0,030	0,020	0,010	0,15	0,18	0,75

D'après <http://www.acouphile.fr/materiaux.html>