

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2018

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

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

L'usage de tout modèle de calculatrice, avec ou sans mode examen, est autorisé.

Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré

Le sujet comporte trois exercices présentés sur 11 pages numérotées de 1 sur 11 à 11 sur 11, y compris celle-ci.

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

EXERCICE I - L'HUILE ESSENTIELLE D'ANIS ÉTOILÉ (9 points)

Les huiles essentielles furent, dès l'antiquité, à l'origine des parfums et des saveurs.

Par exemple, l'huile essentielle d'anis étoilé ou badiane entre dans la composition de boissons anisées. Une huile essentielle est un liquide d'apparence huileuse d'une couleur variable selon les plantes utilisées. Elle s'obtient généralement par hydrodistillation.

L'hydrodistillation de l'anis étoilé sec produit de 8 à 9 % en masse d'huile essentielle. L'huile essentielle d'anis étoilé contient 80 à 90 % en masse d'anéthol, espèce chimique responsable de l'odeur et du goût de l'anis. Elle contient en faible quantité un autre isomère, l'estragol.

Dans cet exercice on se propose :

- d'étudier les structures des molécules d'anéthol et d'estragol ;
- d'étudier l'extraction par solvant de l'anéthol de l'anis étoilé et la synthèse de l'anéthol ;
- de déterminer la concentration massique d'anéthol dans une boisson anisée.

Données à 25°C :

Solvants	eau	éthanol	dichlorométhane	cyclohexane
Miscibilité de l'anéthol	très peu soluble	soluble	soluble	peu soluble
Miscibilité de l'éthanol	miscible en toute proportion	X	miscible	non miscible
Miscibilité du dichlorométhane	non miscible	miscible	X	miscible
Masse volumique (g.mL⁻¹)	1,0	0,79	1,33	0,78
Pictogrammes de sécurité			 	   

Espèce chimique	Masse molaire (g.mol ⁻¹)	Masse volumique (g.mL ⁻¹)
anéthol	148,0	0,9882

Électronégativité de quelques atomes selon l'échelle de Pauling :

H	C	O	Br
2,2	2,5	3,5	3,0

Données RMN :

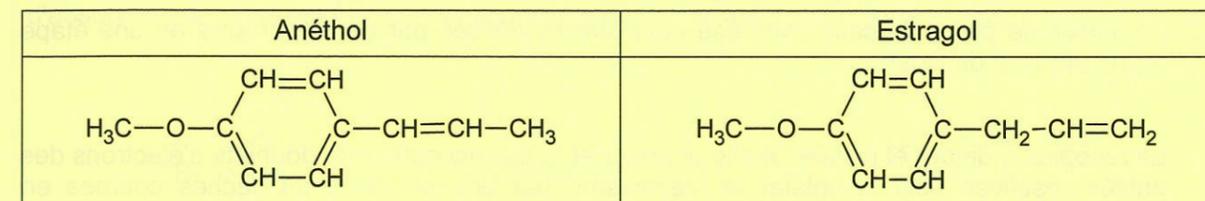
	CH ₃ -C	CH ₃ -O	CH ₃ -C=C	Ar-H	CH ₂ =C	R-CH=C
δ (ppm)	0,9	3,3 - 4,0	1,5 - 1,9	6,0 - 8,5	4,5 - 5,5	4,8 - 6,0

Ar symbolise un cycle aromatique de formule brute C₆H₅, c'est-à-dire comportant des doubles liaisons conjuguées.

On rappelle que le pourcentage massique d'une espèce dans un mélange est le rapport de sa masse sur celle du mélange.

1. Les molécules d'anéthol et d'estragol

Les formules semi-développées de l'anéthol et de l'estragol sont représentées ci-dessous :



- 1.1. L'anéthol et l'estragol sont deux isomères. Justifier.
- 1.2. Parmi l'anéthol ou l'estragol, lequel présente des stéréoisomères de configuration ? Représenter ces deux stéréoisomères et préciser leur configuration.
- 1.3. Quelle relation de stéréoisomérisation lie ces stéréoisomères ?
- 1.4. Peut-on différencier facilement ces deux stéréoisomères au laboratoire ? Justifier

2. Extraction et analyse de l'anéthol issu de l'anis étoilé

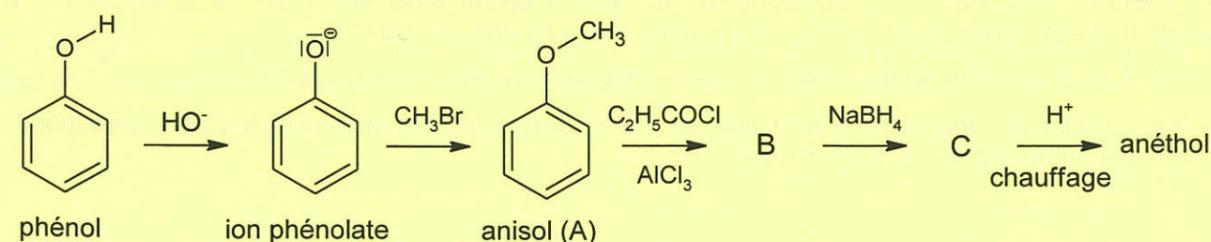
Protocole expérimental

50,0 g d'anis étoilé sont écrasés à l'aide d'un pilon dans un mortier. Sous la hotte, mettre le solide obtenu dans un erlenmeyer et ajouter 200 mL de dichlorométhane. Boucher et agiter pendant 30 minutes. Filtrer puis rincer le filtre avec un peu de dichlorométhane. Transvaser le filtrat dans une ampoule à décanter contenant 200 mL d'eau distillée. Agiter et laisser décanter. Récupérer la phase comportant l'anéthol dans un erlenmeyer. Ajouter 2 à 3 pointes de spatule de sulfate de sodium anhydre. Filtrer et évaporer le solvant sous pression réduite. Peser.

- 2.1. Schématiser l'ampoule à décanter et identifier les différentes phases en précisant les espèces chimiques présentes.
- 2.2. Quelles précautions doit-on prendre pendant cette expérience ? Expliquer.
- 2.3. Sur quels critères est choisi le solvant d'extraction ?
- 2.4. Quel est le rôle de l'ajout du sulfate de sodium anhydre ?
- 2.5. On dispose au laboratoire d'un échantillon d'anéthol pur. Proposer une technique d'analyse pour s'assurer de la présence d'anéthol dans le filtrat et indiquer les résultats attendus si l'anéthol est bien présent dans le filtrat.
- 2.6. À partir de 50,0 g d'anis étoilé, on récupère 1,90 mL d'huile essentielle. L'anéthol est le principal constituant de cette huile essentielle. En négligeant les autres composés, déterminer le pourcentage massique de l'anéthol dans l'anis étoilé. Commenter le résultat.

3. Synthèse de l'anéthol

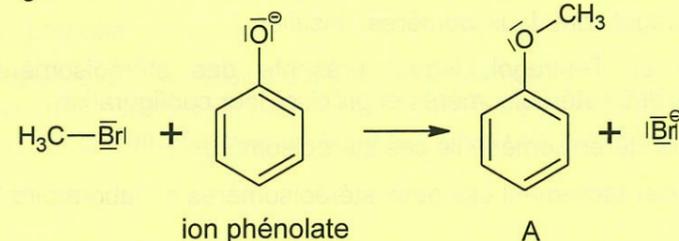
L'extraction de l'anéthol à partir de l'anis étoilé n'est pas suffisante pour satisfaire la demande des consommateurs. Une voie de synthèse possible est réalisée à partir du phénol. Les différentes étapes de cette synthèse sont données ci-dessous :



3.1. Quel est le rôle des ions hydroxyde HO⁻ dans la première étape de la synthèse ? En déduire la nature de la réaction mise en jeu dans cette étape.

3.2. La deuxième étape de cette synthèse peut être modélisée par un mécanisme en une étape représentée ci-dessous.

La recopier, indiquer et justifier le site donneur et le site accepteur de doublets d'électrons des entités réactives puis compléter le mécanisme par une ou plusieurs flèches courbes en rappelant leur signification.



3.3. À l'issu des 5 étapes de la synthèse, le produit final obtenu est analysé par spectroscopie RMN du proton.

Le spectre obtenu comporte les signaux suivants :

- Singulet intégrant pour 3H vers 3,8 ppm
- Doublet intégrant pour 3H vers 1,9 ppm
- Massif intégrant pour 4H du cycle aromatique (Ar) vers 7 ppm
- Multiplet intégrant pour 1H vers 5,5 ppm
- Multiplet intégrant pour 1H vers 6 ppm

Ce spectre confirme-t-il ou non que le produit final est bien de l'anéthol ?

4. Vérification du pourcentage massique d'anéthol dans une boisson anisée alcoolisée

Sur l'étiquette d'une bouteille alcoolisée anisée, on peut lire l'indication suivante : « Anéthol : 0,2 % en masse ».

On considère que la densité de cette boisson est de 1,0 à 25°C.

Pour déterminer la concentration massique en anéthol de cette boisson, on réalise un dosage par étalonnage. Pour ce faire :

- on réalise dans des fioles jaugées de 50.0 ml une gamme de 5 solutions d'anéthol de concentration molaire différente à partir d'une solution notée (An) d'anéthol dans de l'éthanol, à la concentration de 0,132 mol.L⁻¹.
- on dilue la boisson anisée 50 fois dans de l'éthanol : la solution est notée S.

Fiole jaugée	1	2	3	4	5
Volume (An) en µL	50	100	150	200	250
Éthanol	En quantité suffisante pour compléter jusqu'au trait de jauge				

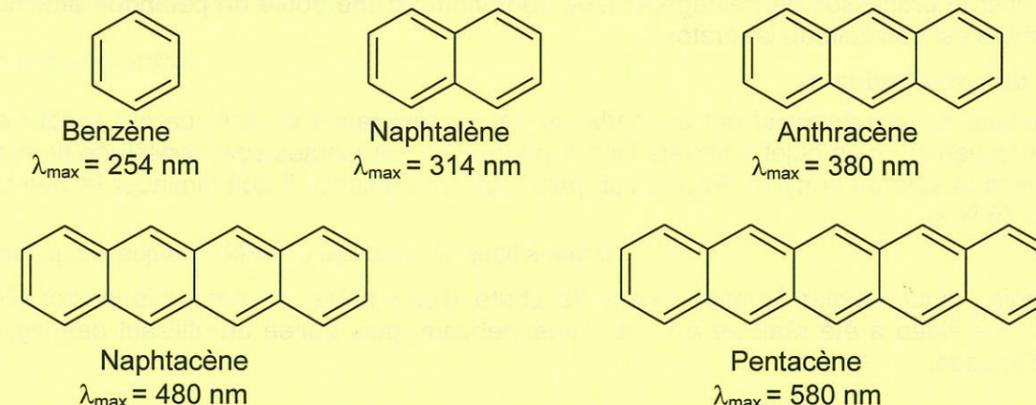
On mesure l'absorbance des solutions de la gamme étalon ainsi que celle de la solution S au maximum d'absorption de l'anéthol, soit à une longueur d'onde de 260 nm.

4.1. À quel domaine de rayonnement électromagnétique cela correspond-il ?

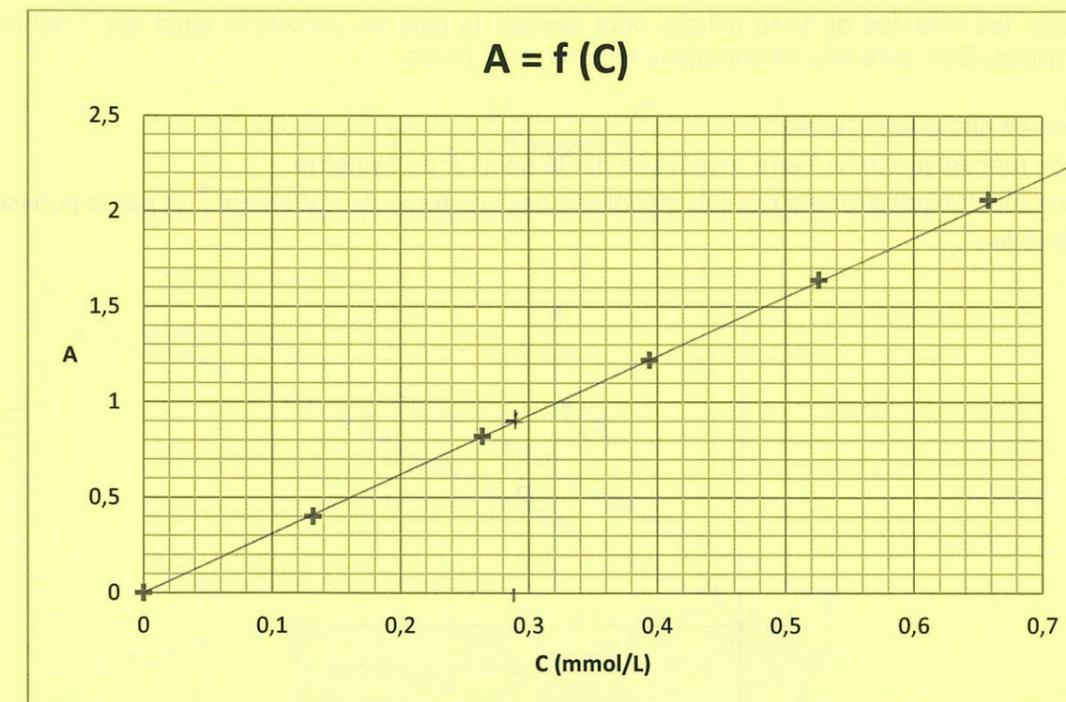
4.2. Justifier en analysant la structure de l'anéthol que le maximum d'absorption correspond à cette gamme de longueur d'onde.

Document : espèce chimique conjuguée et longueurs d'onde des maxima d'absorption

Plus le nombre de liaisons conjuguées est important dans une espèce chimique, plus le maximum d'absorption de cette espèce chimique correspond à une longueur d'onde élevée.



Les valeurs des absorbances des solutions étalons ont été reportées sur la courbe $A = f(C)$ représentée ci-dessous. La solution S présente une absorbance $A_{(S)} = 0,80$.



4.3. L'indication du fabricant apposée sur l'étiquette est-elle correcte ?

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et nécessite d'être correctement présentée.

EXERCICE II - MODÉLISATION D'UN PARACHUTE AU LABORATOIRE (6 points)

L'ouverture d'un parachute modifie le mouvement d'un corps en chute libre.

Pour quantifier le processus de freinage, l'étude de la chute d'une boule de pétanque attachée à un petit parachute est conduite au laboratoire.

Physique du parachutisme

« Le parachute est un dispositif qui engendre une forte résistance de l'air, ce qui a pour effet de ralentir le mouvement d'un objet à travers l'atmosphère. Les parachutes sont constitués de matériaux légers comme la soie ou le nylon. Pour qu'un parachute soit efficace il doit diminuer la vitesse limite d'au moins 75 % »

D'après https://fr.wikipedia.org/wiki/Physique_du_parachutisme

Au laboratoire, pour étudier le mouvement de chute d'une boule de pétanque accrochée à un parachute, une vidéo a été réalisée à l'aide d'une webcam, puis traitée en utilisant des logiciels de pointage d'images.

1. Cadre théorique de l'étude

On considère le système {boule de pétanque + parachute}.

La masse de la boule de pétanque étant très supérieure à celle des tissus et fils utilisés pour fabriquer le parachute, on assimile la masse du système à la masse de la boule de pétanque.

Pour l'étude, les volumes de tissu utilisés pour réaliser la toile du parachute ainsi que celui des fils seront négligés. Seul sera pris en compte le volume de la boule.

Le système en chute est soumis :

- à l'action mécanique de la Terre modélisée par le poids \vec{P} du système ;
- à l'action mécanique exercée par l'air modélisée par une force de frottement \vec{f} et par la poussée d'Archimède \vec{F}_A .

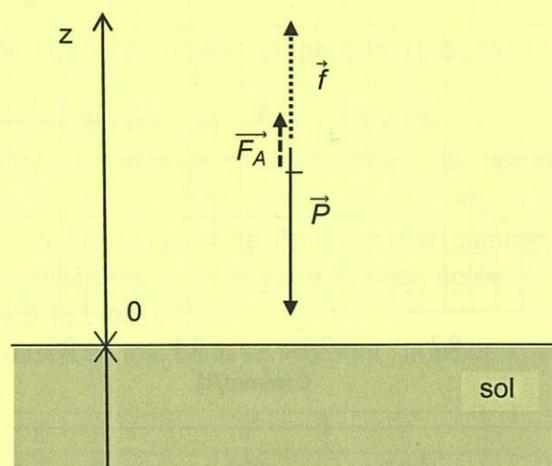


Figure 3 : représentation des forces subies par le système (sans souci d'échelle)

Données :

- expression de l'intensité de la poussée d'Archimède : $F_A = \rho_{\text{air}} \cdot V \cdot g$;
avec : ρ_{air} (en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) ; la masse volumique de l'air dans lequel est plongé le corps ;
 V (en m^3) ; le volume du corps placé dans l'air,
 $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$; l'intensité du champ de pesanteur.
- masse du système étudié : $m = 400 \text{ g}$;
- diamètre de la boule : $d = 10 \text{ cm}$;
- volume V d'une sphère de rayon r : $V = \frac{4}{3} \pi r^3$;
- masse volumique de l'air : $\rho_{\text{air}} = 1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

1.1. Le référentiel d'étude étant supposé galiléen, écrire la seconde loi de Newton appliquée au système étudié.

1.2. Dans ce cadre d'étude, montrer, à l'aide d'un calcul numérique, que l'on peut négliger la poussée d'Archimède par rapport au poids du système.

2. Étude expérimentale

Dans la suite on s'appuie sur les résultats expérimentaux ci-dessous et les données relatives au système fournies précédemment :

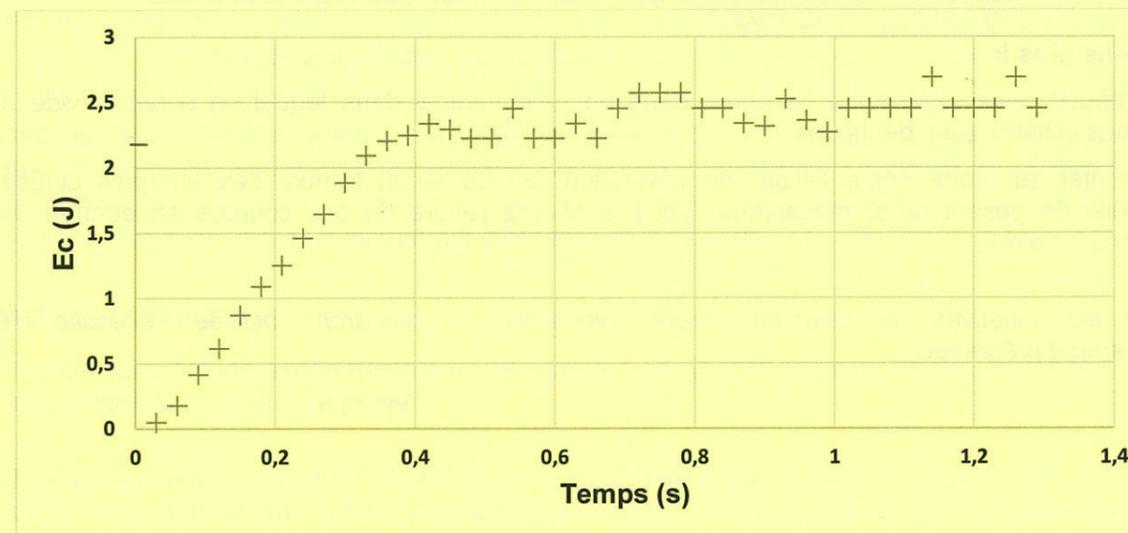


Figure 1 : évolution de l'énergie cinétique du système en fonction du temps.

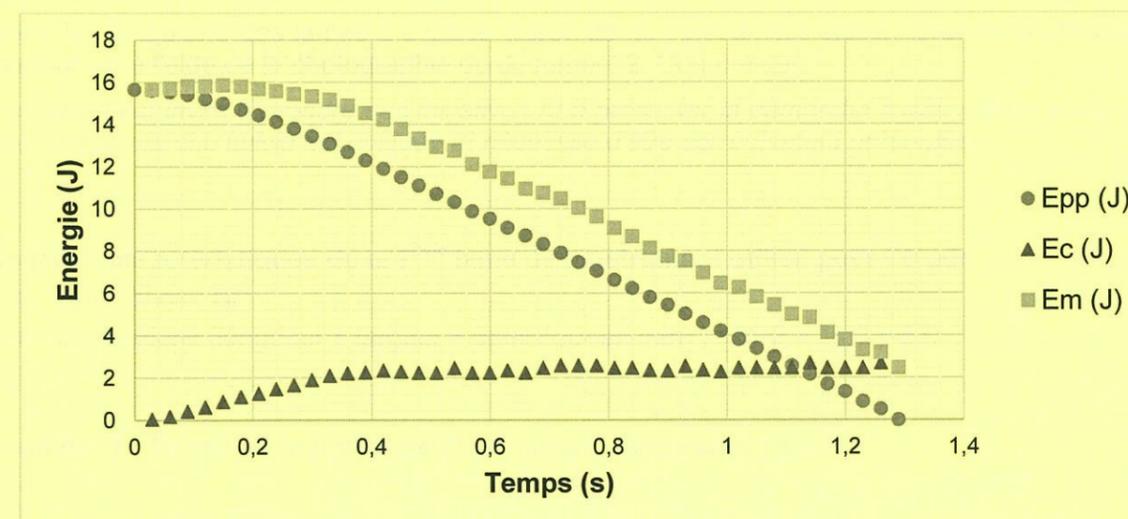


Figure 2 : évolutions des énergies cinétique, potentielle de pesanteur et mécanique du système en fonction du temps.

L'énergie potentielle est choisie nulle au niveau du sol ($z = 0$).

2.1. Comment évolue la vitesse du système lors de sa chute ? Justifier.

2.2. Estimer la valeur de la « vitesse limite » qui est la vitesse maximale atteinte par le système.

À partir de quelle date t_0 cette valeur est-elle atteinte ?

- 2.3. En s'appuyant sur l'expression de l'énergie potentielle de pesanteur du système, déterminer la valeur Δz de la variation d'altitude du système pendant la phase de mouvement uniforme (entre le début de la phase où la vitesse limite est atteinte et l'atterrissage).
- 2.4. Comment l'énergie mécanique du système varie-t-elle au cours du mouvement ? Que peut-on en conclure sur les forces de frottement de l'air exercées sur le système ?
- 2.5. Déterminer la valeur de la variation d'énergie mécanique pendant la phase de mouvement uniforme.
- 2.6. En déduire la valeur de la force de frottement supposée constante pendant la phase de mouvement uniforme. Conclure quant au bilan des forces, pendant cette phase.

3. Allons plus loin...

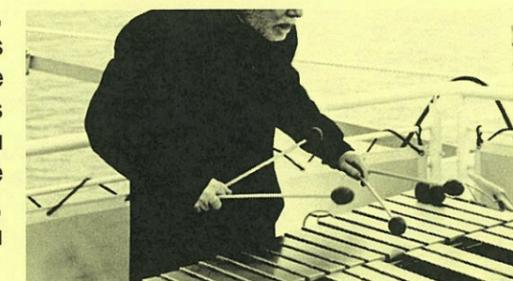
On reproduit cette expérience de chute dans un tube vertical dans lequel on a fait le vide. Les conditions initiales sont identiques.

Représenter sur votre copie l'allure de l'évolution, au cours du temps, des énergies cinétique, potentielle de pesanteur et mécanique. Vous justifierez l'allure de ces courbes en donnant leurs équations horaires.

Toutes les initiatives du candidat seront valorisées ; la démarche utilisée nécessite d'être correctement présentée.

EXERCICE III - UN INSTRUMENT À PERCUSSION (5 points)

Instrument à percussion de la famille des métallophones, le glockenspiel – également appelé jeu de timbres (littéralement, en allemand : « jeu de cloches ») – se compose d'une série de lames métalliques (le plus souvent en acier) de longueurs graduées. Les lames du glockenspiel moderne sont accordées selon la gamme chromatique, à l'instar des touches d'un clavier de piano, et les altérations (correspondant aux touches noires du piano) sont rehaussées.



Extrait de Encyclopedia Universalis

Comme le montre la photographie ci-dessus, les glockenspiels sont constitués de lames en acier de longueurs différentes et d'épaisseur identique. Ces lames permettent de produire les différentes notes de la gamme.

Dans cette étude, on utilise un instrument glockenspiel d'initiation.

Questions préliminaires

1. Montrer que l'étude expérimentale du son produit par la 7^{ème} lame de l'instrument (Document 4) est cohérente avec la note jouée.
2. Discuter quantitativement la cohérence entre le modèle présenté dans le document 5 et le spectre de l'onde sonore obtenu expérimentalement avec la 7^{ème} lame de l'instrument (Document 4).

Problème

Prévoir les longueurs des lames à chaque extrémité de l'instrument étudié. Evaluer la cohérence de ces résultats à l'aide de la photographie du document 2. Commenter.

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie même si elle n'a pas abouti. La démarche suivie est évaluée et nécessite d'être correctement présentée.

Données : caractéristiques de la 7^{ème} lame de l'instrument utilisé pour l'étude

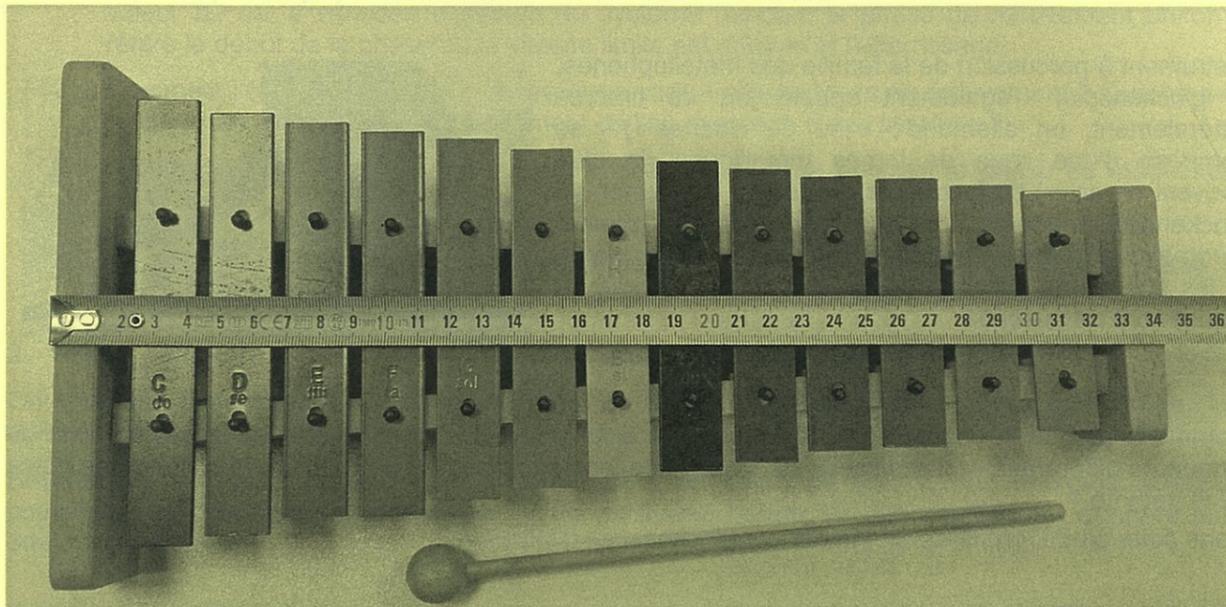
- Note jouée : Si ;
- Dimensions (longueur × largeur × épaisseur en mm) : 101,0 × 20,0 × 2,0

Document 1 : Extrait de la notice de l'instrument utilisé pour l'étude

Caractéristiques

- ▶ Glockenspiel d'initiation G18
- ▶ Carillon diatonique avec 13 lames sonores
- ▶ Gamme tonale Do4 – La5
- ▶ Corps fermé en hêtre verni
- ▶ Acier sonore allemand
- ▶ Maillets en bois et sac de transport fournis

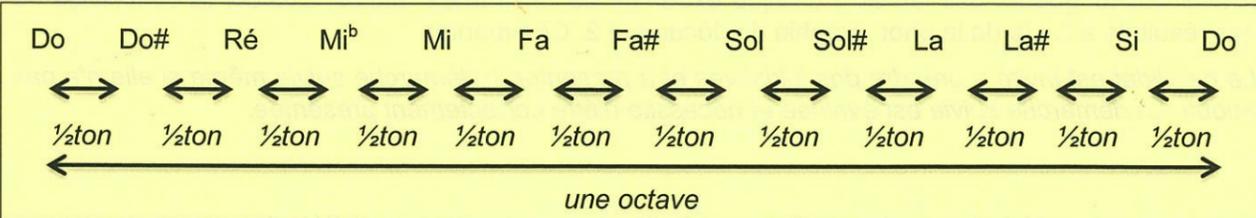
Document 2 : Photographie de l'instrument utilisé pour l'étude



Document 3 : Gamme tempérée

La gamme musicale qui est utilisée de nos jours, a été élaborée à la fin du XVII^{ème} siècle. Elle est fondée sur une série de notes (Do - Do# - Ré - Mi^b - Mi - Fa - Fa# - Sol - Sol# - La - La# - Si - Do) qui se répètent. Chaque série constitue une octave et on lui associe un chiffre, ainsi le La₃ correspond à la note La de la 3^{ème} octave.

Chaque octave est découpée en douze intervalles égaux, appelés demi-tons (noté 1/2ton).



À chaque note est associée une fréquence f exprimée en hertz. Par convention, la fréquence de la note La₃ a été fixée à 440 Hz.

La gamme tempérée est construite pour que le rapport entre la fréquence d'une note et la fréquence de la même note de l'octave du dessous soit égale à 2. En prolongeant l'exemple précédent :

$$\frac{f(\text{La}_3)}{f(\text{La}_2)} = 2 \text{ ce qui permet de calculer } f(\text{La}_2) = \frac{f(\text{La}_3)}{2} = 440/2 = 220 \text{ Hz}$$

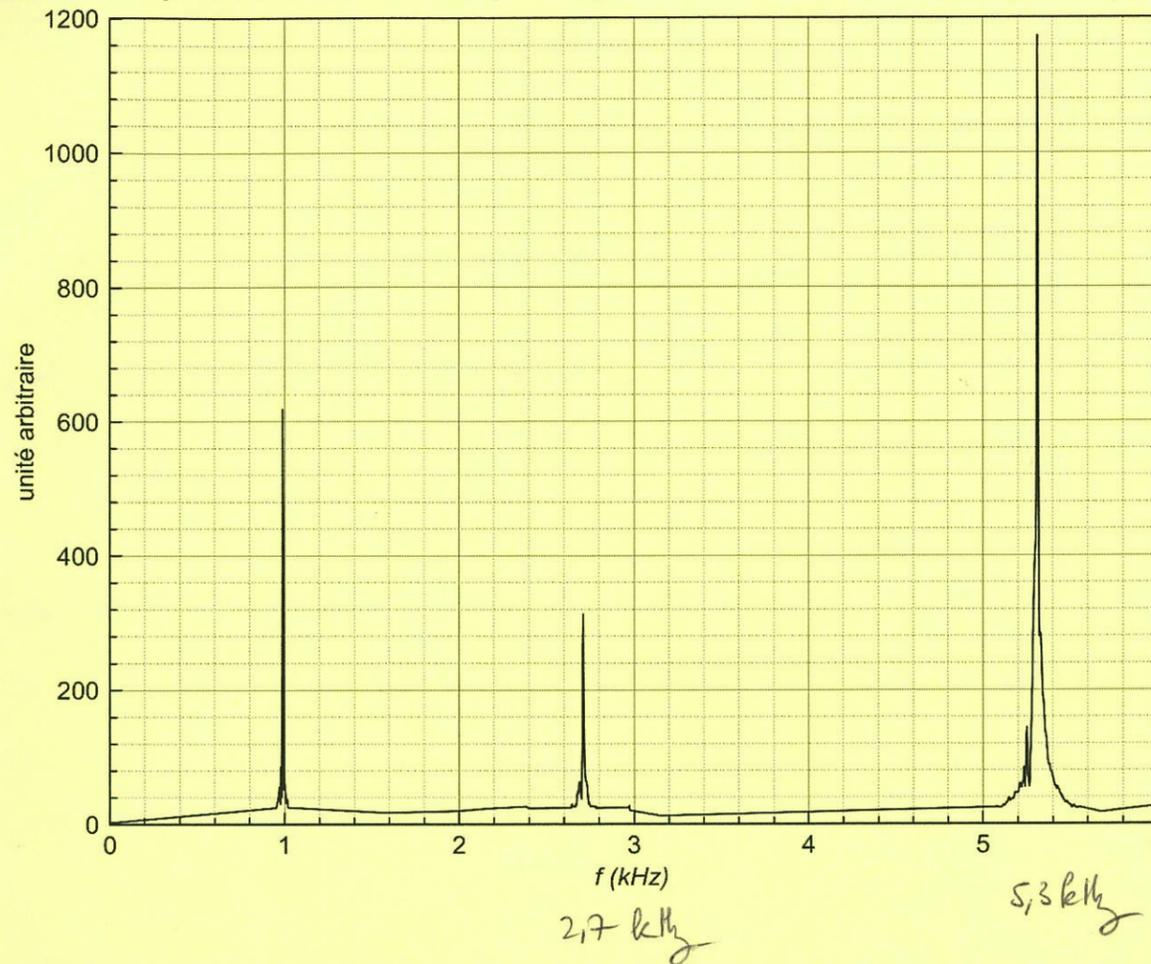
La division en 12 intervalles égaux de l'octave implique que le rapport de fréquences du demi-ton est égal à :

$$\sqrt[12]{2} = (2)^{\frac{1}{12}} = 1,059$$

Ainsi, la fréquence de la note La#₃ s'obtient en calculant :

$$f(\text{La}\#_3) = 1,059 \times f(\text{La}_3) = 466 \text{ Hz}$$

Document 4 : Spectre de Fourier du son produit par la 7^{ème} lame de l'instrument (Note Si)



Document 5 : Vibration d'une lame d'épaisseur constante

Pour pouvoir vibrer correctement lorsqu'elles sont frappées, les lames des instruments à percussion reposent sur un support souple avec lequel elles ne sont pas solidaires. Cette absence de fixation rigide permet aux extrémités des lames de ne subir aucune contrainte.

Dans ce cas, il est possible de démontrer que le spectre de Fourier de l'onde sonore produite par ces lames est composé de plusieurs pics d'abscisses f_1, f_2, f_3, \dots . Ces fréquences vérifient approximativement la relation suivante :

$$f_n = k \cdot \frac{e}{L^2} \cdot (2 \cdot n + 1)^2 \quad \text{avec}$$

- k : constante liée au matériau constituant la lame (en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$);
- e : épaisseur de la lame (en m);
- L : longueur de la lame (en m);
- n : nombre entier positif.

Dans cette relation, le cas $n = 1$ correspond au mode fondamental.