

Mots-clefs « casque audio », « enceintes acoustiques » et « instruments électroniques ».

1 Activité documentaire : la restitution des sons (30 minutes)

L'enceinte acoustique ou le casque audio constituent le dernier maillon d'une chaîne haute fidélité (HiFi) ou d'un baladeur (iPod). Quels sont les critères de qualité d'un système de restitution sonore ?

Document 1 – L'utilité de l'enceinte acoustique



Une enceinte acoustique maintient les haut-parleurs et leur permet de transmettre efficacement à l'air les vibrations de leurs membranes.

Quand un haut-parleur est utilisé seul, sa membrane fait à la fois vibrer l'air devant elle mais aussi l'air derrière elle. En effet, lorsqu'elle avance, la pression augmente devant elle et diminue derrière. Inversement, la pression diminue devant et augmente derrière lorsqu'elle recule. Cela crée deux ondes sonores, une émise vers l'avant et une autre émise vers l'arrière. Du fait de leur mode de production, ces deux ondes sont en opposition de phase. Si elles se rencontrent et se superposent, elles peuvent s'annuler. Cela se produit surtout pour les basses fréquences.

Pour éviter ce phénomène, il faut supprimer les ondes arrière. Cela peut être réalisé en fixant le haut-parleur sur un « support infini » constitué d'une plaque de grande dimension. Un tel support permet de séparer les ondes avant et arrière et empêche leur superposition.

Une autre solution consiste à renvoyer les ondes arrière vers l'avant tout en les déphasant de 180° . C'est le système *bass-reflex*. Il empêche l'annulation qui pourrait se produire lorsque ces ondes arrière, renvoyées vers l'avant, se superposent aux ondes avant.

Wikipédia.

Document 2 – Tester des enceintes acoustiques

« Si l'électronique envoie un signal « propre », encore faut-il que l'acoustique le restitue avec un minimum de dégradation. Qualité des haut-parleurs, des filtres, choix des matériaux, des formes et des volumes, autant de paramètres qui nécessitent un gros zeste de savoir-faire pour obtenir

le bon son. Pour le noter, nous faisons appel à une batterie de tests réalisés en « chambre sourde », afin d'absorber les réflexions sonores.

Principaux tests discriminants

Vibration du coffret Les haut-parleurs font vibrer la "caisse" de l'enceinte acoustique. À certaines fréquences, à une certaine puissance, ce phénomène devient franchement dérangeant. À l'aide d'un accéléromètre, nous relevons le niveau de cette vibration à différentes fréquences.

Pureté des graves C'est la mesure des déformations générées par des harmoniques sur trois fréquences fondamentales du grave, 40, 50 et 60 Hz. Facilement audibles, elles deviennent vite très désagréables et perturbantes pour l'écoute.

Rendement C'est le niveau sonore — mesuré par un micro situé à 1 mètre — qu'une enceinte est capable de restituer lorsqu'on lui envoie une puissance de 1 watt.

C'est un paramètre essentiel pour optimiser le couplage ampli-enceintes au niveau de la puissance : pas d'enceinte de rendement très faible sur un ampli de faible puissance ! La valeur de ce rendement résulte des choix techniques des concepteurs de l'enceinte, mais n'a pas de relation systématique avec sa qualité.

Directivité On relève la dégradation de la courbe de réponse sur le plan horizontal à 30° et 45° de l'axe du "tweeter". Avec des enceintes à faible déperdition latérale, la zone d'écoute stéréo et Home Cinema sera plus vaste et plus confortable. »

Dossier Fnac 2011.

Document 3 – Améliorer l'écoute de son baladeur : les casques audio

« Tout comme les enceintes acoustiques pour la haute fidélité, le casque est l'élément essentiel de la qualité d'écoute. Or, pour « tirer » les prix des baladeurs vers le bas, ou augmenter leurs profits, la plupart des fabricants choisissent d'équiper leurs baladeurs avec des casques tout à fait médiocres. Le remplacer par un bon casque transformera radicalement le son d'un baladeur moyen, tout comme celui du meilleur, car, en fait, le rôle du casque est beaucoup plus important pour la musicalité que la qualité électronique du baladeur.

Pour le choisir, il y a bien sûr des critères subjectifs comme l'esthétique ou la mode, des critères de confort, essentiels pour le supporter longtemps et la bonne tenue sur les oreilles.

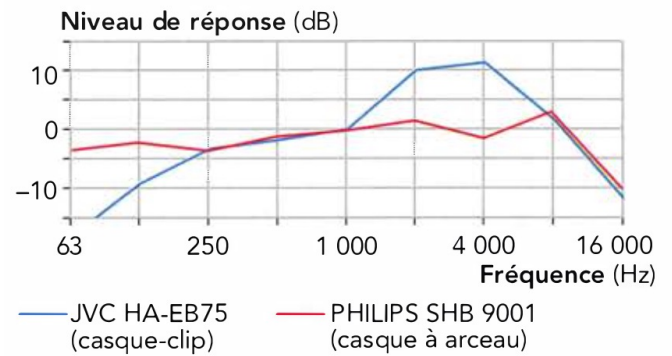
Les clips Ils sont de type oreillette traditionnelle, inter ou supra-auriculaires. Ils sont maintenus grâce à un contour d'oreille qui garantit une parfaite stabilité du casque, au prix parfois d'un inconfort après plusieurs heures d'utilisation.

Les intra-auriculaires Ils sont discrets et souvent de bien meilleure qualité que les écouteurs traditionnellement proposés avec les baladeurs. Ces écouteurs pénètrent plus ou moins profondément dans le conduit auditif. Ils isolent ainsi mieux l'oreille des bruits ambiants et offrent une qualité sonore comparable aux casques Hi-Fi.

Les casques à arceau Ils sont de deux types, les casques supraauriculaires et les casques circumauriculaires. Les casques supraauriculaires se placent sur l'oreille et sont reliés entre eux par un arceau, qui entoure le sommet du crâne ou ceinture la nuque. Parfois pliables, ils sont alors destinés à un usage en extérieur. Leur capacité d'isolation et leur qualité sonore sont meilleures que celles des oreillettes « simples », mais moindres que celles des casques Hi-Fi.

Les casques circum-auriculaires se placent autour de l'oreille. Ils sont plus volumineux que les casques supraauriculaires, leurs qualités sonore et d'isolation sont optimales, à un tel point que les bruits de la

ville sont totalement étouffés ; attention aux risques urbains.



Les casques n'offrent pas une restitution linéaire, selon la technologie employée ils favorisent certaines fréquences, tantôt les graves, les médiums ou les aigus. [...] Leur courbe de réponse vous permet de faire votre choix selon vos propres critères et le type de musique que vous écoutez. »

Dossier Fnac 2011.

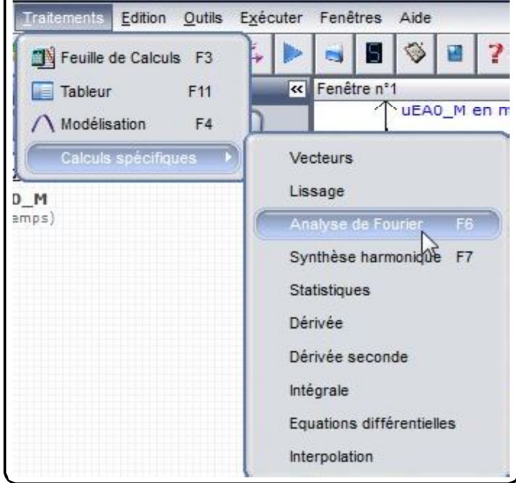
- Par quel phénomène les ondes avant et arrière émises par un haut-parleur peuvent-elles s'annuler ? Quelles solutions techniques sont mises en œuvre pour éviter ce phénomène ?
- Que permettent les tests réalisés sur des produits techniques comme les enceintes acoustiques ?
- Conclusion : Quels sont les critères de qualité d'une enceinte acoustique et d'un casque audio ?

2 Activité expérimentale : Analyse et synthèse d'un son (1 heure 15 min)

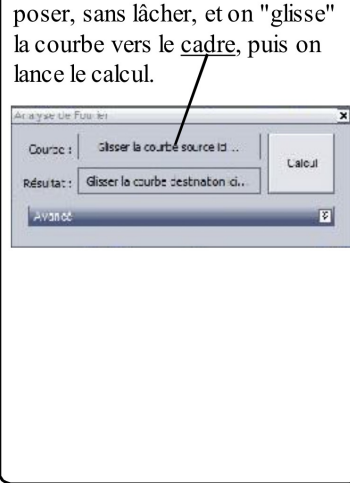
Depuis l'avènement de l'électronique, de nouveaux instruments ont vu le jour. L'analyse de sons et le traitement numérique permet de créer toutes sortes de sons. Peut-on reproduire n'importe quel son musical ?

Document 1 – Fiche d'aide « ECE Bac » pour Oscillo 5.

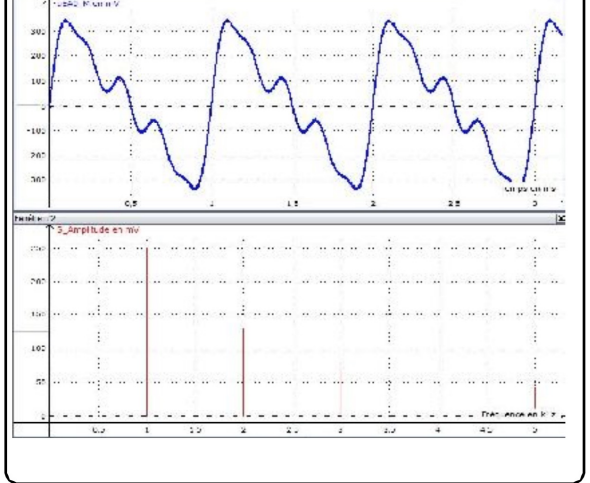
① On peut obtenir la décomposition en série de Fourier, en cliquant sur "Traitements"



② Dans la liste des courbes, on clique gauche sur celle à décomposer, sans lâcher, et on "glisse" la courbe vers le cadre, puis on lance le calcul.



③ Il doit apparaître alors une double fenêtre



2.1 Se familiariser avec Oscillo 5

Ce logiciel permet de synthétiser un son.

- Ouvrir le logiciel Oscillo 5. Comme recommandé, connecter SA1 à EA0 et SA2 à EA1.
- Mettre en marche le GBF virtuel.
- Ne rien changer au pré-réglage de la tension et de la fréquence (Tension de 2 V et une fréquence de 500 Hz).
- Régler la sensibilité verticale de la voie EA0 et la sensibilité horizontale, pour visualiser environ 4 périodes du signal et que le signal visualisé occupe au mieux l'écran verticalement.
- À l'aide du casque, écouter la note produite.
- Imprimer un oscillogramme.

d. Noter les réglages de l'oscilloscope : sensibilité verticale et horizontale.

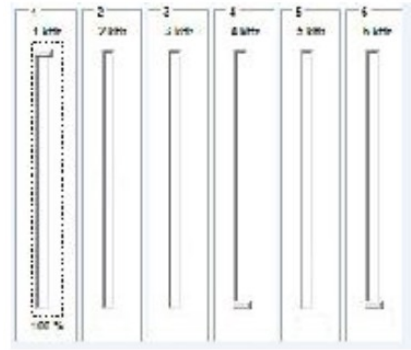
e. Imprimer un oscillogramme et utiliser cette impression pour mesurer la période du signal visualisé.

f. Par le calcul, retrouver la valeur de la fréquence réglée précédemment.

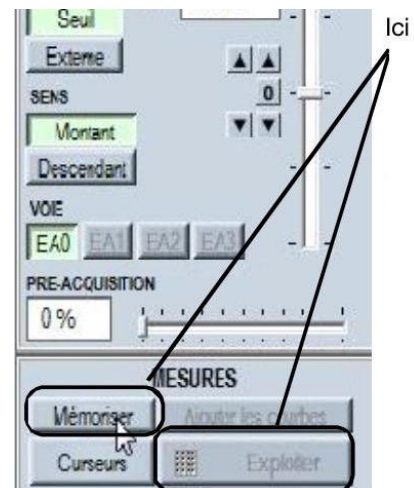
g. Ce son est-il pur ? Justifier la réponse.

2.2 Ajout d'harmoniques

- Ajouter quelques harmoniques à la fondamentale (se limiter aux six premières harmoniques). On garde la première harmonique à 100 %, aucun pourcentage n'est imposé pour les suivantes.



- Écouter le son produit, à chaque nouvelle harmonique ajoutée. Observer l'évolution du signal.

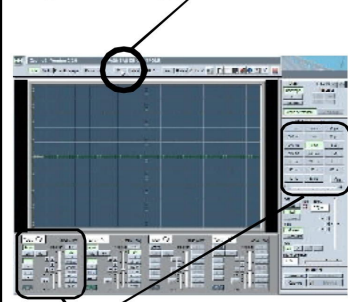


- Mémoriser et exporter le signal en cliquant sur « Mémoriser » puis sur « Exploiter », et enfin sur l'icône de LatisPro, qui permet le transfert du signal synthétisé vers le logiciel LatisPro.

h. Comment s'appelle la fréquence de la première harmonique ? Quel est le lien entre cette fréquence et les fréquences des harmoniques suivantes ?

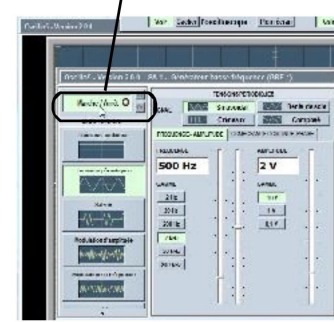
Document 2 – Fiche d'aide « ECE Bac » pour Latis Pro.

- ① On dispose du logiciel Oscillo 5. On peut faire apparaître un GBF

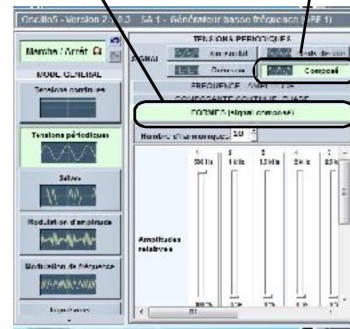


A tout moment, on peut régler la sensibilité verticale (tension) et horizontale (temps) de l'écran, pour visualiser au mieux le signal capté.

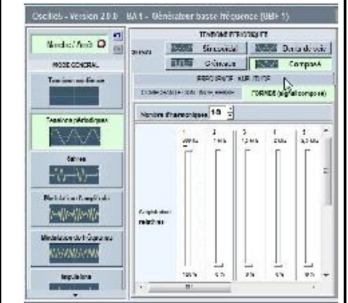
- ② On peut le mettre en marche, sélectionner le type de tensions, la fréquence du signal et l'amplitude



- ③ On peut "complexifier" le signal, en cliquant sur "Composé" puis "FORMES (signal composé)".



- ④ et ainsi choisir en % d'amplitude relative par rapport à l'intensité fondamentale, un certain nombre d'harmonique.



2.3 Se familiariser avec Latis Pro

Ce logiciel permet d'analyser le signal du son produit précédemment.

- Faire apparaître la liste des courbes obtenues en cliquant sur l'icône en forme de sinus en haut à gauche.
- En cliquant gauche sur uEA0_M faire glisser dans la fenêtre graphe pour faire apparaître la courbe.
- Effectuer une décomposition en Série de Fourier. On peut devoir faire un zoom pour faire apparaître les pics de la décomposition. On clique droit et avec l'option "loupe +" on peut sélectionner la zone que l'on veut agrandir.
- À l'aide du pointeur (clic droit de la souris sur le graphe du spectre), relever les valeurs des pics visualisés (amplitude et fréquence).
- Calculer le % relatif de ces amplitudes, avec la relation :

$$\% \text{ relatif} = \frac{\text{Tension (harmonique)}}{\text{Tension (fondamentale)}}$$

2.4 Utilisation de sons pré-enregistrés

- On dispose de fichiers sons dans un dossier « Fichiers sons » de la clef USB. Lire ces sons avec Audacity, en écoutant au casque.

- Utiliser l'adaptateur jack vers banane pour envoyer ces sons depuis la sortie son de l'ordinateur vers la console Sysam SP5, entrée EA0 et Masse.
- Procéder à deux enregistrements différents :
 - un enregistrement pour faire apparaître les transitoires d'attaque et d'extinction du son ;
 - un enregistrement pour faire apparaître la forme du signal.
- Mesurer la période du signal sur un grand nombre de périodes (pour accroître la précision de la mesure). Calculer la fréquence correspondante.
- Dans le menu Traitements > Calculs spécifiques > Transformée de Fourier, effectuer la transformée de Fourier du signal enregistré, en glissant-déposant la courbe EA1 (si cela n'est pas déjà fait, cliquer sur la Liste des courbes pour avoir accès à la courbe EA1 à glisser-déposer).
- Trouver la fréquence du fondamental et des harmoniques.

i . Comment est appelé le graphique obtenu ? Quelles sont les grandeurs en abscisse et en ordonnée ?

j . Quelles sont les différences entre les différents instruments ? Notre oreille peut-elle « sentir » ces différences entre instruments ?

3 Correction des exercices (séance n° 6)

6.1 Rangs des harmoniques

a. $f_3 = 3 \cdot f_1 = 3 \times 261 = 783 \text{ Hz}$.

b. Il s'agit de l'harmonique de rang 5 :

$$\frac{f_n}{f_1} = \frac{1305}{261} = 5$$

6.2 Sons consonants

a. Pour calculer les fréquences des sons consonants, il suffit de multiplier la fréquence du do_3 par le rapport indiqué. On obtient la liste des fréquences ci-dessous, en hertz, dans l'ordre du texte (quinte, quarte, tierce majeure, tierce mineure, sixte majeure, sixte mineure).

392,4	348,8	327,0	313,9	436,0	418,6
-------	-------	-------	-------	-------	-------

b. La hauteur relative est un calcul basé sur le logarithme des rapports des fréquences, qui s'exprime en savarts, et n'a rien d'amusant à calculer. En revanche il est bien plus intéressant de regarder si les sons consonants précédents correspondent ou pas à l'une des notes de la gamme tempérée. Pour cela, on part toujours de la fréquence du do_3 , et on multiplie successivement par l'intervalle correspondant à un demi-ton :

$$2^{1/12}$$

jusqu'à obtenir la fréquence du do_4 . Les résultats sont reportés dans le tableau de fréquences ci-dessous, en hertz, le do_4 étant le dernier de la liste :

do#	ré	ré#	mi	fa	fa#
277,2	293,6	311,1	329,6	349,2	370,0
sol	sol#	la	la#	si	do
392,0	415,3	440,0	466,1	493,8	523,2

J'ai donné leurs noms aux notes, conformément à la gamme tempérée (en ne gardant que des dièses). Savoir de tels noms nécessite un petit effort de mémoire, puisqu'il faut connaître sa gamme tempérée, ce qui n'est pas explicitement demandé dans le programme de Physique de Terminale S.

Si on compare les deux tableaux, on constate que la gamme tempérée permet une assez bonne exécution de la quinte do-ré, de la quarte do-fa, de la tierce majeure do-mi, de la tierce mineure do-ré#, les sixtes étant quant à elles légèrement plus fausses en do-la et en do-sol#.

6.3 Le violon

1.1. Dans un violon, les cordes constituent les excitateurs, et le résonateur est la caisse, y inclus la fameuse caisse d'harmonie. Les cordes créent les vibrations (mode fondamental et modes harmoniques) à l'origine du son, et la caisse amplifie ce son avant de le transmettre à l'air ambiant.

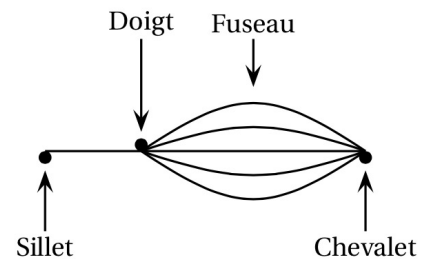
1.2. On modifie la hauteur du son émis par une corde en la raccourcissant, en posant un doigt de la main gauche sur la corde pour la plaquer fermement sur la « touche » (document 2).

1.3. Les éléments transmettant les vibrations sont les sillets et le chevalet, vibrations qui parcourent ensuite la table d'harmonie, qui « transmet et diffuse les vibrations à tout l'instrument » (document 3), et donc à l'ensemble de la caisse de résonance.

1.4. Puisque la table d'harmonie est à la fois un élément qui transmet les vibrations entre les cordes et la caisse, et entre la caisse et l'air lors de l'émission du son, elle est donc de toute première importance. Sa forme et les matériaux qui la composent sont le résultat de choix très précis, selon un art et de techniques plusieurs fois centenaires.

2.1.1. La direction de propagation de l'onde est perpendiculaire à la direction de la perturbation (pincement de la corde), la corde est donc le siège d'une onde transversale (la définition d'une onde transversale était attendue).

2.1.2. Schéma de la corde :



2.1.3. La longueur d'onde λ est la plus petite distance entre deux points en phase. On constate qu'il se forme une onde stationnaire d'un seul fuseau, de longueur la moitié de la longueur d'onde sur la corde de longueur L , donc :

$$L = \frac{\lambda}{2}$$

2.2.1. La célérité v des ondes sur une corde est :

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

La longueur d'onde λ est liée à la célérité v et à la fréquence f par :

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

En remplaçant la célérité par son expression dans cette dernière formule :

$$\lambda = \frac{1}{f} \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

Or d'après la question précédente :

$$L = \frac{\lambda}{2} \Leftrightarrow \lambda = 2L$$

Donc en remplaçant dans l'expression précédente :

$$2L = \frac{1}{f} \sqrt{\frac{T}{\mu}} \Leftrightarrow 2Lf = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad \text{c. q. f. d.}$$

2.2.2. On isole la tension T dans l'expression de la question précédente :

$$\begin{aligned} 2Lf = \sqrt{\frac{T}{\mu}} &\Rightarrow \frac{T}{\mu} = 4L^2 f^2 \\ &\Leftrightarrow T = 4L^2 f^2 \mu \end{aligned}$$

Application numérique :

$$\begin{aligned} T &= 4 \times 0,550^2 \times 440^2 \times 0,95 \times 10^{-3} \\ T &= 2,2 \times 10^2 \text{ N} \end{aligned}$$

2.3. La longueur L' de la corde est modifiée, ce qui modifie la longueur d'onde λ' du son émis et donc, sa fréquence f' . Cela a pour conséquence de modifier la note jouée. Comme la tension T de la corde ne change pas et que la masse linéique μ est identique, la célérité v n'est pas modifiée. La formule de la question **2.2.1** permet de trouver L' :

$$2L'f' = \sqrt{\frac{T}{\mu}} = 2Lf \Rightarrow L' = L \frac{f}{f'}$$

Application numérique :

$$L' = 55,0 \times \frac{294}{440} = 36,8 \text{ cm}$$

Donc la violoniste appuie à 36,8 cm du chevalet, ou encore $55,0 - 36,8 = 18,2$ cm du sillet.

2.4.1. Le spectre n° 1 correspond à un son pur, sans harmoniques, avec un fondamental à 440 Hz, il s'agit du spectre du diapason ;

Le spectre n° 2 correspond à un son complexe, avec des harmoniques et un fondamental à 440 Hz, il s'agit du spectre du violon. Pour vérifier qu'il s'agit bien du fondamental et d'harmoniques, il faut « tester » si la relation $f_n = n f_1$ est valable, par lecture graphique des fréquences et calcul des rapports f_n/f_1 :

$$\frac{1300}{440} = 3,0 \quad \text{et} \quad \frac{2200}{440} = 5,0$$

Ainsi, les fréquences des harmoniques sont multiples de celle du fondamental, donc il s'agit bien d'un son musical.

2.4.2. Grâce aux lectures graphiques et calculs précédents, on constate l'absence des harmoniques paires $n = 2$, $n = 4$ et $n = 6$:

$$\begin{aligned} f_2 &= 2f_1 = 2 \times 440 = 880 \text{ Hz} \\ f_4 &= 4f_1 = 4 \times 440 = 1760 \text{ Hz} \\ f_6 &= 6f_1 = 6 \times 440 = 2640 \text{ Hz} \end{aligned}$$

6.4 Comment sont positionnées les frettes sur le manche d'une guitare ?

À me remettre comme devoir maison.

4 Exercices (pour la séance n° 7)

7.1 Calculer le niveau sonore correspondant à une intensité de 1 W.m^{-2} .

7.2 Calculer la fréquence du do_4 , qui est à 3 demi-tons au dessus de la_3 .

7.3 Les fenêtres à double vitrage sont de bons isolants phoniques. Un fabricant promet une diminution de niveau sonore de 35 dB_A . Comparer les intensités sonores avant et après la traversée du double vitrage.

7.4 Calculer l'intervalle entre le do_3 et le sol_3 , séparés par 7 demi-tons. Conclure quant à la consonance de la quinte dans la gamme tempérée.

7.5 Briser une vitre avec un son Dans ce problème, on veut essayer de comprendre comment un bang supersonique de niveau sonore trop élevé peut briser les vitres d'un bâtiment.

1. Une première expérience permet de montrer que la chute d'une pierre de 500 g, d'une hauteur de 70 cm, permet de briser une vitre carrée de 20 cm de côté et d'épaisseur 4 mm.

a. Calculer l'énergie cinétique de la pierre à la fin de sa chute, juste avant de toucher la vitre.

b. On considère que la vitre est brisée en un temps très court, temps nécessaire pour que la pierre se déplace sur les 4 mm d'épaisseur de la vitre. On fait l'hypothèse très simplificatrice que, lors de cette phase de mouvement, la pierre peut encore être considérée en chute libre ! Calculer le temps nécessaire à la pierre pour passer de 70 cm à 70,4 cm à la fin de cette chute libre.

c. On considère que la pierre est parfaitement immobile après son choc avec la vitre, et donc que l'intégralité de son énergie cinétique calculée au **a.** a été dissipée dans la vitre, dans le temps calculé au **b.** ; calculer la puissance \mathcal{P} ainsi reçue par la vitre, lors de ce choc.

d. En déduire la puissance par unité de surface ou *intensité* I reçue par la vitre, intensité que l'on calculera avec la formule :

$$I = \frac{\mathcal{P}}{S}$$

où S est la surface de la vitre.

2. Dans une seconde expérience, on dispose d'une grosse enceinte acoustique, dont le cône d'émission a un rayon de $R = 10 \text{ cm}$.

a. Calculer la surface $S = \pi R^2$ de la partie émettant le son.

b. On colle le haut-parleur sur la vitre. En déduire la puissance acoustique \mathcal{P} nécessaire pour atteindre l'intensité I calculée à la question **1.d.** Conclure.

7.6 Audiogramme

a. D'après l'audiogramme de Fletcher et Munson ci-dessus, dans quel domaine de fréquences l'oreille est-elle la plus sensible ?

b. Pourquoi les courbes s'arrêtent-elles pour des fréquences bien déterminées ?

c. L'auditeur perçoit-il un son de fréquence 50 Hz et de niveau sonore 40 dB_A ?

