

III. ÉNONCÉ DESTINÉ AU CANDIDAT

NOM :	Prénom :
Centre d'examen :	n° d'inscription :

Ce sujet comporte **six** feuilles individuelles sur lesquelles le candidat doit consigner ses réponses.
Le candidat doit restituer ce document avant de sortir de la salle d'examen.

Le candidat doit agir en autonomie et faire preuve d'initiative tout au long de l'épreuve.
En cas de difficulté, le candidat peut solliciter l'examineur afin de lui permettre de continuer la tâche.
L'examineur peut intervenir à tout moment, s'il le juge utile.

L'utilisation d'une calculatrice ou d'un ordinateur autres que ceux fournis n'est pas autorisée.

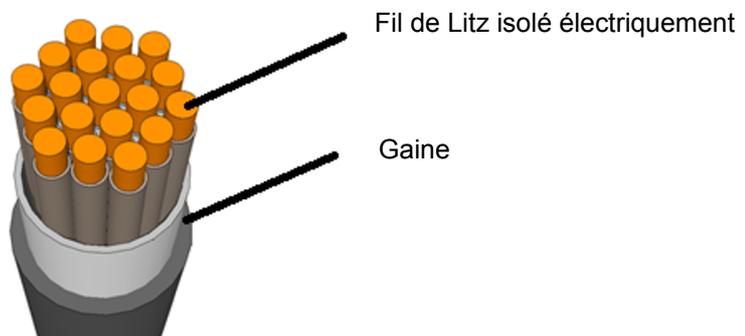
CONTEXTE DU SUJET

Paul est mélomane ; il recherche des câbles de qualité permettant de brancher son amplificateur audio à ses enceintes. Un ami électronicien lui a donné une bobine de câble électrique constitué de fils de Litz isolés qui permettraient de transmettre efficacement les signaux correspondant aux sons les plus aigus. En effet, les fils de Litz sont très fins et limiteraient « l'effet de peau » qui provoquerait une atténuation du signal transmis. Pas encore convaincu par l'argument, Paul décide de vérifier expérimentalement qu'un fil de Litz peut être utilisé comme câble audio.

Le but de cette épreuve est de déterminer si ce câble électrique à fils de Litz peut être utilisé pour transmettre efficacement des signaux électriques correspondant à des sons très aigus.

DOCUMENTS MIS À DISPOSITION DU CANDIDAT**Document 1 : Câble à fils de Litz**

Un câble électrique à fils de Litz peut être utilisé pour transmettre des signaux électriques de hautes fréquences. Il est constitué de plusieurs fils de Litz isolés électriquement les uns des autres. L'ensemble des fils de Litz est gainé pour former un seul câble.



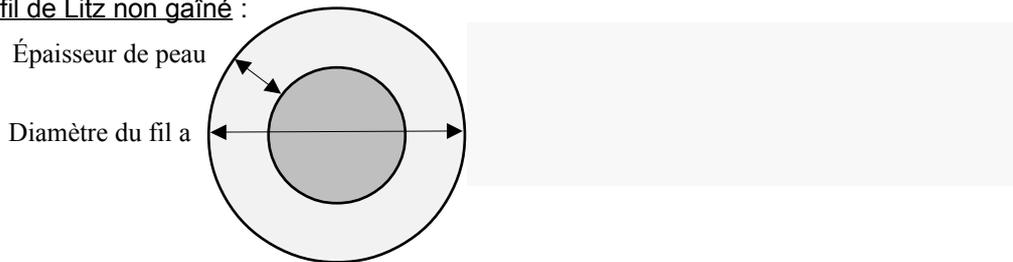
D'après https://en.wikipedia.org/wiki/Litz_wire#/media/File:Lica.png

Document 2 : « L'effet de peau » dans un conducteur électrique

Lorsque la fréquence du signal est élevée, le courant électrique ne circule que sur une épaisseur δ limitée à la périphérie du conducteur (conducteur en cuivre, typiquement). Ce phénomène est appelé « effet de peau ». Plus la fréquence est élevée, plus la zone dans laquelle circule le courant est réduite et plus le signal est atténué.

Pour un conducteur en cuivre, par exemple un fil de Litz, la relation entre l'épaisseur de peau δ et la fréquence f du signal transmis est donnée par : $\delta^2 \cdot f = 4,25 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.

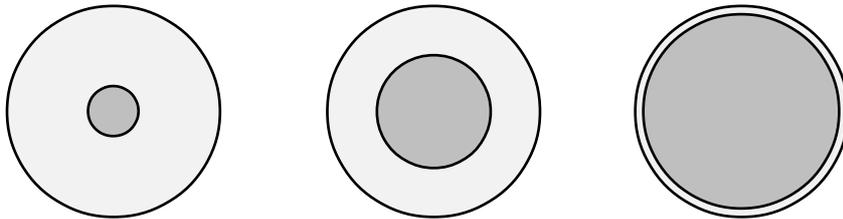
Vue en coupe d'un fil de Litz non gainé :



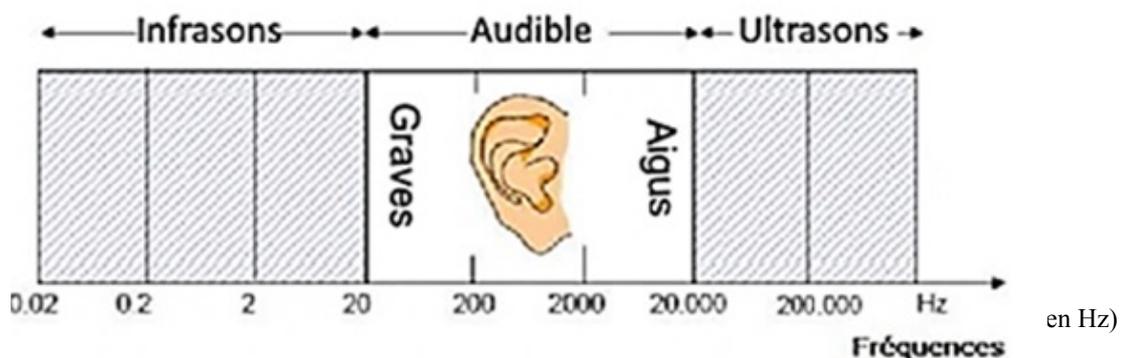
L'effet de peau est présent si $2\delta < a$. Dans tous les autres cas, l'effet de peau est considéré inexistant et le signal est alors peu atténué.

Évolution de l'épaisseur de peau en fonction de l'augmentation de la fréquence :

Pour un diamètre donné, lorsque l'épaisseur de peau diminue, le signal transmis est de plus en plus atténué.



Augmentation de la fréquence du signal f

Document 3 : Le spectre sonore

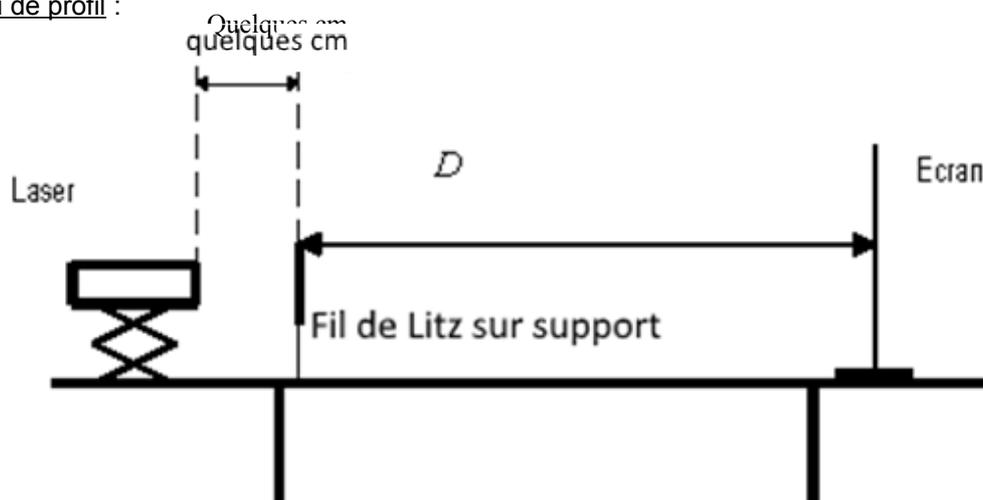
D'après <http://www.techniquesduson.com/acoustiquefondamentale.html>

Document 4 : Dispositif de diffraction de la lumière

En éclairant le fil de diamètre a par une source laser monochromatique de longueur d'onde λ , perpendiculaire au fil, on observe sur un écran une figure de diffraction. Les taches secondaires de diffraction sont réparties régulièrement de part et d'autre de la tache centrale de diffraction. Une mesure de la largeur d de la tache centrale permet d'accéder au diamètre du fil a à l'aide de la relation suivante :

$$\frac{a}{\lambda} = \frac{d}{2.D}$$

Montage vu de profil :



Caractéristiques techniques du laser rouge :

Longueur d'onde : (650 ± 10) nm

Puissance : 1 mW (classe II).

Document 5 : Incertitude relative

L'incertitude relative $\frac{U(X)}{X}$ représente l'importance de l'erreur par rapport à la grandeur mesurée X .

Ce rapport est habituellement exprimé en pourcentage. L'incertitude relative permet de comparer la précision de différentes mesures. La mesure la plus précise est celle dont l'incertitude relative est la plus faible.

D'après <http://www2.cegep-ste-foy.qc.ca/profs/rfoy/labo/incertitudes/incertitudes.html>

Matériel mis à disposition du candidat

- une calculatrice type « collègue » ou un ordinateur avec fonction « calculatrice »
- un laser sur support réglable en hauteur
- un fil de Litz sur un support
- un écran blanc gradué
- une règle graduée
- une lampe de poche
- un mètre ruban

TRAVAIL À EFFECTUER**1. Protocole expérimental** (10 minutes conseillées)

Pour transmettre un signal électrique correspondant à un son aigu, il est nécessaire de réduire le diamètre a du fil afin de d'éviter l'atténuation due à l'effet de peau.

À partir de la liste de matériel, proposer un protocole expérimental et préciser les mesures à effectuer pour accéder à la valeur du diamètre a du fil de Litz.

On cherche à déterminer le diamètre a du fil de Litz. Pour cela on utilisera la technique de diffraction. (Protocole de diffraction) :

- On place le laser sur un support élévateur.
- On met le fil de Litz sur le parcours du laser à une distance D d'un écran.
- On mesure la tache centrale de diffraction à l'aide d'une règle graduée. (Attention à ne pas regarder le laser)
- On détermine le diamètre du laser à l'aide de la formule du doc 4 : $\lambda/a = d/2D$

APPEL n°1		
	Appeler le professeur pour lui présenter le protocole ou en cas de difficulté	

2. Diamètre du fil de Litz (30 minutes conseillées)

Mettre en œuvre le protocole et déterminer la valeur du diamètre a du fil de Litz.

$a = 2D\lambda/d$ → (faire les calculs avec les valeurs)

APPEL n°2		
	Appeler le professeur pour lui présenter les réponses ou en cas de difficulté	

Pour améliorer l'estimation du diamètre a du fil de Litz, il est important d'évaluer les incertitudes sur les valeurs des grandeurs mesurées. Le constructeur du laser annonce une incertitude sur la longueur d'onde $U(\lambda) = 10 \text{ nm}$.

Estimer la valeur des incertitudes $U(D)$ et $U(d)$ correspondant aux mesures de D et de d . Calculer ensuite leurs incertitudes relatives.

$$U(D) = 10^{-3}$$

$$U(d) = 10^{-3}$$

$$U(\lambda) = 10 \text{ nm}$$

incertitude relative de D : $U(D)/d$ → (faire les calculs avec les valeurs)

incertitude relative de d : $U(d)/d \rightarrow$ (faire les calculs avec les valeurs)

incertitude relative de λ : $U(\lambda)/\lambda \rightarrow$ (faire les calculs avec les valeurs)

Au vu des résultats précédents, émettre une hypothèse sur la source d'erreur qui est prédominante et faire une proposition pour la diminuer.

La source d'erreur prédominante est celle de d . Pour la diminuer il faudrait augmenter la distance D entre le fil et l'écran.

APPEL FACULTATIF		
	Appeler le professeur en cas de difficulté	

1. Fil de Litz et sons aigus (20 minutes conseillées)

On considèrera ici que l'on souhaite transmettre un son aigu de fréquence proche de 15 000 Hz. Évaluer alors l'épaisseur de peau δ correspondante dans un fil de Litz en cuivre.

À l'aide des documents 2 et 3 et de la mesure expérimentale du diamètre a du fil à disposition, argumenter sur la capacité de ce **fil à ne pas trop atténuer** des signaux correspondant à des sons aigus.

On cherche à déterminer si $2\delta < a$. Pour cela on va déterminer δ avec la formule du doc 2 :

$$\delta^2 \cdot f = 4,25 \times 10^{-3} \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}.$$

\rightarrow (faire les calculs avec les valeurs)

Si $2\delta < a$ alors l'effet de peau est présent et il y a atténuation

Si $2\delta > a$ alors l'effet de peau est inexistant et il n'y a pas atténuation. **(ici le sujet indique cette solution)**

APPEL n°3		
	Appeler le professeur pour lui présenter vos réponses ou en cas de difficulté	

Défaire le montage et ranger la paillasse avant de quitter la salle.