

Fiche 3 : ÉNONCÉ DESTINÉ AU CANDIDAT ET DOCUMENT RÉPONSE

Durée de l'épreuve : 3 h

Coefficient : 9

Nom :		N° inscription :	
Prénom :		Centre d'examen :	

Ce sujet comporte 11 pages y compris le document réponse sur lequel 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 pouvoir continuer la tâche. La demande de précisions sur la tâche à effectuer n'entraîne pas systématiquement une pénalisation. Le candidat doit être rassuré à ce niveau.

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.

Acoustique d'une salle polyvalente



Intérieur et extérieur de la salle 3000 à la Cité Internationale de Lyon

De nombreuses villes investissent dans la construction de salles de spectacles polyvalentes, c'est le cas de la « salle 3000 » à la Cité Internationale de Lyon. Une telle salle doit être conçue pour pouvoir accueillir diverses manifestations : diffusion de films, concerts, conférences, séminaires d'entreprises, etc. Son acoustique doit donc être, elle aussi, polyvalente et adaptable au type de sonorisation souhaité.

Ce sujet propose d'étudier trois propriétés acoustiques de la salle :

- ▶ l'évolution des propriétés du son en fonction de la distance à la scène ;
- ▶ l'« effet de baffle », inconvénient à éviter lors des concerts ;
- ▶ la réverbération, souhaitable ou non selon le type de manifestation organisé dans la salle.

Le sujet est divisé en trois parties indépendantes, au cours desquelles l'on étudiera chacune de ces trois questions.

A. Évolution des propriétés d'un son musical en fonction de la distance à la scène

(Durée maximale : 1 h)

DOCUMENT 1 : hauteur et timbre des sons musicaux

Deux sons ont la même hauteur s'ils correspondent à la même note de musique. En physique cela s'interprète à l'aide de la fréquence de l'onde acoustique correspondante : si leur fréquence est la même, les deux sons ont la même hauteur.

Le timbre d'un son correspond à sa capacité à être reconnu quand on l'écoute. Par exemple le timbre du saxophone est reconnaissable, quelle que soit la note qu'il joue. En physique cela s'interprète, sur le spectre en amplitude, par la répartition en amplitude des harmoniques.

DOCUMENT 2 : notes et fréquences dans la gamme tempérée

Le tableau ci-dessous donne les fréquences des ondes acoustiques correspondant aux notes de la 2^{ème} octave dans la gamme tempérée :

Note	Do	Do#	Ré	Ré#	Mi	Fa	Fa#	Sol	Sol#	La	La#	Si
Fréquence (Hz)	131	139	147	156	165	175	185	196	208	220	233	247



Un morceau de musique, joué par un saxophoniste sur la scène, a été enregistré par deux dispositifs d'acquisition identiques :

- le premier était placé au premier rang : l'extrait sonore correspondant est le fichier « Saxo_1erRang.wav » ;
- le second était placé au fond de la salle : l'extrait sonore correspondant est le fichier « Saxo_Fond.wav ».

Q1. Écouter successivement ces deux extraits sonores. Le second est plus « étouffé » que le premier, ce qui traduit une modification du timbre.

Parmi les deux autres propriétés de ce son que sont sa hauteur et son niveau d'intensité sonore : laquelle est identique sur les deux enregistrements et laquelle a varié ? On ne demande pas de justification.

Q2. La première note de la mélodie jouée par le saxophoniste a été extraite de chacun des deux fichiers précédents et ont donné les fichiers « Saxo_LA_1erRang.wav » et « Saxo_LA_Fond.wav ». Importer les valeurs de signal et de temps qu'ils contiennent en suivant la méthode décrite ci-après et afficher leurs évolutions temporelles dans la même fenêtre.

Méthode pour importer les données d'un fichier « .wav » sous Latis Pro :

- Ouvrir Latis Pro.
- Cliquer sur « Fichier » puis « Importation ».
- Dans le menu déroulant en bas de la fenêtre qui s'ouvre, choisir « Fichier son *.wav ».
- Sélectionner le fichier à importer.
- Dans la fenêtre qui s'ouvre, faire glisser « son » dans le cadre « ordonnée » et « temps » dans le cadre « abscisse ».
- Cliquer sur OK : la courbe n'a plus qu'à être affichée.
- Recommencer au besoin l'opération pour importer un second signal.

- Q3.** Ces deux sons ont-ils bien la même hauteur ? Exploiter les évolutions temporelles obtenues à la question précédente pour répondre. On ne demande pas de faire des mesures.

Appel n° 1 : appeler l'examineur pour lui montrer les signaux affichés, les réponses aux questions Q1 et Q3 ou en cas de difficulté.

- Q4.** À l'aide du logiciel utilisé, obtenir les spectres en amplitude des deux signaux acoustiques enregistrés et les afficher dans deux fenêtres séparées.

Méthode pour obtenir un spectre en amplitude sous Latis Pro :

- cliquer sur le menu « traitement » ;
 - choisir « calculs spécifique »
 - sélectionner « analyse de Fourier » ;
 - faire glisser la courbe à traiter dans le cadre « courbe » ;
 - cliquer sur « calcul ».
- Q5.** Mesurer, sur chacun de ces deux spectres, la fréquence de la 10^{ème} harmonique et en déduire les fréquences fondamentales de ces deux sons. Montrer que cela confirme bien que ces deux sons ont la même hauteur.
- Q6.** Le morceau de musique joué par le saxophoniste commence par la note « La ». Les mesures et calculs de la question Q5 montrent que le saxophone utilisé est légèrement désaccordé : émet-il des sons trop graves ou trop aigus ? Justifier en comparant le résultat précédent aux données présentées dans le document 2.
- Q7.** L'atténuation d'une harmonique s'exprime en décibels (dB) et se calcule par la relation :

$$A = 20 \log \left(\frac{U(\text{premier rang})}{U(\text{dernier rang})} \right)$$

$U(\text{premier rang})$ et $U(\text{dernier rang})$ étant les amplitudes de l'harmonique considérée, respectivement au dernier et au premier rang de la salle.

Faire les mesures nécessaires pour calculer l'atténuation du fondamental, notée A_1 et celle de la 10^{ème} harmonique, notée A_{10} entre le 1^{er} et le dernier rang.

- Q8.** Expliquer en quoi les valeurs obtenues à la question précédente expliquent que le son, au fond de la salle, ait un timbre légèrement différent de celui entendu au premier rang.

Appel n° 2 : appeler l'examineur pour lui montrer les spectres affichés, les réponses aux questions Q4 à Q8 ou en cas de difficulté.

B. Étude de l'effet de baffle

(Durée maximale : 1 h 20 min)

Lorsque la salle polyvalente est utilisée pour la diffusion d'un concert de rock, le son des instruments est amplifié et émis par des enceintes. On cherche dans cette partie un moyen d'éviter un inconvénient bien connu lié à l'utilisation des enceintes : l'effet de baffle.

DOCUMENT 3 : l'effet de baffle

Le « baffle » est le nom, issu de l'anglais, que l'on donne parfois aux enceintes utilisées lors de la diffusion des concerts. Un baffle est une caisse (en bois le plus souvent) dans laquelle sont fixés un ou plusieurs haut-parleurs :

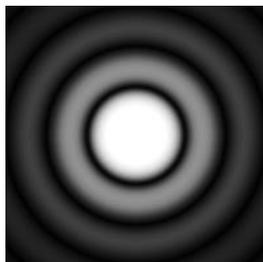


L'effet de baffle est un défaut lié à l'utilisation des enceintes : pour une note de musique donnée (donc pour une fréquence donnée de l'onde sonore émise), il peut exister des directions dans lesquelles le son est atténué. L'origine de ce phénomène est la **diffraction** de l'onde sonore par le haut-parleur circulaire qui l'émet.

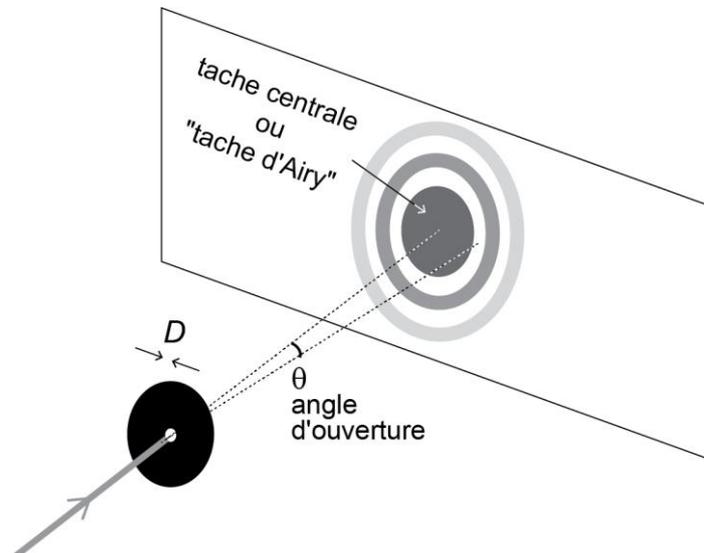
DOCUMENT 4 : diffraction par une ouverture circulaire

Diffraction d'un faisceau de lumière :

Si un faisceau de lumière monochromatique et de longueur d'onde λ est intercepté par un trou circulaire de diamètre D , la figure observée sur un écran placé derrière l'ouverture et perpendiculairement au faisceau a l'allure décrite ci-dessous.



Allure de la figure observée



La tache centrale de cette figure est appelée « tache d'Airy ». L'angle d'ouverture vaut, en radian :

$$\theta = 1,22 \frac{\lambda}{D}$$

Diffraction des ondes mécaniques périodiques :

Pour une onde mécanique périodique, le phénomène de diffraction est également observable et suit les mêmes lois que la diffraction lumineuse.

Nous allons étudier l'effet de baffle en représentant l'enceinte (ensemble haut-parleur + caisson) par une maquette constituée d'un émetteur d'ultrasons et d'une ouverture circulaire.

B1. Mesure de la longueur d'onde des ultrasons utilisés

- Q9.** Utiliser le matériel disponible pour
- émettre une onde ultrasonore en mode continu à l'aide d'un émetteur **en résonance** (l'amplitude des ultrasons émis doit être maximale)
 - visualiser cette onde ultrasonore à l'aide d'un système d'acquisition (oscilloscope ou carte d'acquisition) réglé afin d'observer quelques périodes du signal.

Appel n° 3 : appeler l'examineur pour lui montrer l'émetteur d'ultrasons en résonance.

- Q10.** Placer deux récepteurs l'un derrière l'autre et face à l'émetteur réglé précédemment, comme indiqué ci-dessous :



Visualiser les signaux reçus par chacun des deux récepteurs à l'aide d'un système d'acquisition (oscilloscope ou carte d'acquisition) réglé afin d'observer quelques périodes des signaux.

- Q11.** Déplacer le second récepteur afin que les deux signaux observés soient en phase.
 → **Rappel** : deux signaux sont dits « en phase » s'ils ont la même fréquence et si leurs maxima et minima sont simultanés.
- Q12.** À l'aide du montage obtenu à la question Q11, rédiger le protocole d'une expérience permettant de mesurer la longueur d'onde des ultrasons avec la meilleure précision possible.

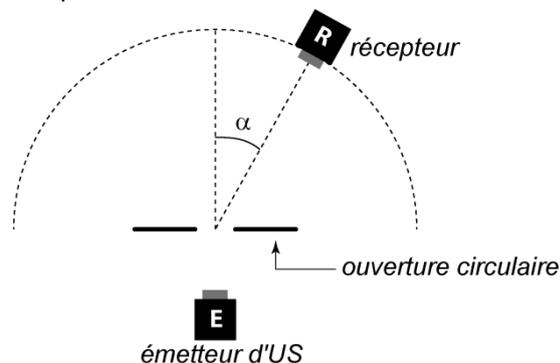
Appel n°4 : appeler l'examineur pour lui montrer les deux signaux en phase et lui proposer le protocole expérimental de la question Q12.

- Q13.** Réaliser la mesure de la longueur d'onde en suivant le protocole rédigé à la question Q12.
- Q14.** Identifier au moins une source d'erreur affectant la mesure de la longueur d'onde de la question Q13.

Appel n°5 : appeler l'examineur pour lui montrer la valeur de longueur d'onde obtenue à la question Q13 et la réponse à la question Q14.

B2. Variation de l'amplitude de l'onde en fonction de l'angle de réception

- Q15.** On utilise l'émetteur d'ultrasons réglé à la question Q9. La plaque percée qui joue le rôle du caisson sera placée à environ 10 cm de l'émetteur. En utilisant le matériel disponible, mesurer l'amplitude du signal reçu, à distance fixe de l'« enceinte », pour des angles α variant de -60° à $+60^\circ$, tous les 5° . Saisir directement les valeurs obtenues dans le tableur-grapheur préparé par le centre d'examen : la représentation graphique de l'amplitude en fonction de α s'affiche automatiquement.



- Q16.** À l'aide du logiciel utilisé, déterminer la valeur de l'angle α correspondant au premier minimum d'amplitude obtenu. On notera cette valeur θ_{mes} .

Appel n°6 : appeler l'examineur pour lui montrer les résultats des questions Q15 et Q16.

- Q17.** À l'aide de vos connaissances et des documents ci-avant, calculer la valeur théorique de cet angle, notée θ_{th} , en supposant que ce minimum correspond à une extinction due à la diffraction de l'onde ultrasonore par l'ouverture de l'émetteur.
 → **Rappel** : $\pi \text{ rad} = 180^\circ$ donc $1 \text{ rad} \approx 57^\circ$

- Q18.** L'incertitude-type de l'angle mesuré à la question Q16 est estimée à : $u(\theta_{mes}) = 5^\circ$. Exploiter cette valeur pour en déduire si c'est bien la diffraction qui est la cause de l'allure des variations de l'amplitude de l'onde constatée à la question Q15.
- Q19.** Dans le domaine audible, le phénomène constaté dans cette étude existe également, il est souvent appelé « effet de baffle » (voir document 3). Par exemple, pour une onde sonore aigue de fréquence 880 Hz, correspondant au La4, émise par un haut-parleur de diamètre 40 cm, la valeur de θ est-elle susceptible d'affecter certains auditeurs dans la salle ? Justifier la réponse en calculant la valeur de l'angle θ_{th} dans cette situation et en décrivant les conséquences de l'effet de baffle pour les personnes concernées.
→ **Donnée** : célérité des ondes sonores dans l'air : $c = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.
- Q20.** Expliquer pourquoi, lors d'un concert, le fait d'utiliser plusieurs enceintes disposées à différents endroits de la salle permet de palier les inconvénients de l'effet de baffle.

Appel n°7 : appeler l'examineur pour lui montrer les réponses aux questions Q17 à Q20.

C. Comment ajuster la réverbération dans la salle de spectacle ?

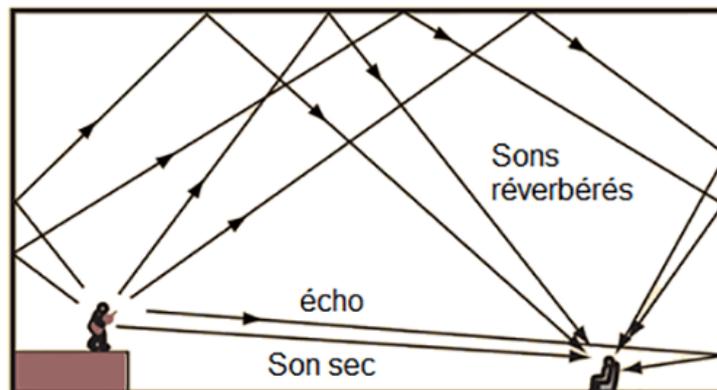
(Durée maximale : 40 min)

Certaines salles de spectacles polyvalentes sont équipées de panneaux amovibles qui sont installés ou non selon le type de manifestation organisée. L'acoustique de la salle s'en trouve alors modifiée, en raison notamment de la réverbération du son, plus ou moins importante selon que les panneaux sont présents ou non, et selon leur nombre.

On se propose, dans cette dernière partie, de déterminer expérimentalement quel matériau peut être choisi pour réaliser ces panneaux et quels doivent être les motifs sculptés à leur surface.

DOCUMENT 5 : réverbération dans une salle de spectacle

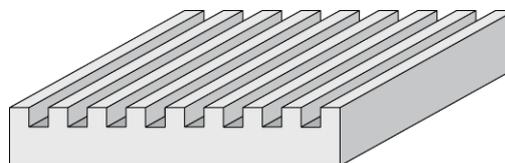
On appelle réverbération le phénomène de persistance du son pour les auditeurs, après que la source a cessé d'émettre. Ce sont les réflexions des ondes sonores sur les parois de la salle qui sont responsables de ce phénomène.



source image : <https://www.softdb.com/fr/reverberation-en-analyse-acoustique/>

L'absence de réverbération provoque un mauvais rendu musical, tandis qu'elle facilite la compréhension de la parole.

- Q21.** On dispose de plusieurs plaques de matériaux différents, dans des états de surface différents : certaines sont lisses et d'autres ont été sculptées selon le profil suivant :



Proposer le protocole d'une expérience permettant d'étudier l'influence du matériau et de son état de surface sur la capacité d'une plaque à réfléchir les ondes ultrasonores.

Appel n°8 : appeler l'examineur pour lui présenter la proposition de protocole expérimental ou en cas de difficulté.

- Q22.** Réaliser l'expérience proposée à la question Q21 à l'aide du protocole fourni par l'examineur. Noter tous les résultats obtenus.
- Q23.** Une salle polyvalente est susceptible d'accueillir des événements divers. Des panneaux amovibles sont ajoutés au plafond lors des conférences et ôtés lors des concerts. En exploitant le document 5 et les résultats expérimentaux obtenus précédemment, indiquer quels types de matériaux doivent constituer le plafond et les panneaux amovibles. On précisera également leurs états de surface.
Un paragraphe argumenté est attendu pour justifier la réponse.

Défaire les montages et ranger la paillasse avant de quitter la salle.

DOCUMENT RÉPONSE À RENDRE

Nom :		N° inscription :	
Prénom :		Centre d'examen :	

PARTIE A (Durée maximale : 1 h)

Q1. Propriété qui est inchangée et propriété qui est modifiée entre les deux enregistrements :

Q2. Tracé des graphiques (aucune réponse écrite demandée).

Q3. Exploitation des courbes pour déterminer si les deux sons ont bien la même hauteur :

Q4. Tracé des spectres en amplitude (aucune réponse écrite demandée).

Q5. Mesure de la fréquence de la 10^{ème} harmonique et calcul de la fréquence fondamentale :

Q6. Exploitation des résultats pour déterminer si le son est trop grave ou trop aigu :

Q7. Mesures d'amplitudes et calcul des coefficients d'atténuation en amplitude :

Q8. Justification de la modification du timbre :

PARTIE B (Durée maximale : 1 h 20 min)

Q9. Mise à la résonance de l'émetteur et visualisation du signal (aucune réponse écrite demandée).

Appel n°3

Q10. Placement du second récepteur et réglage du système d'acquisition (aucune réponse écrite demandée).

Q11. Mise en phase des deux signaux (aucune réponse écrite demandée).

Q12. Protocole proposé :

Appel n°4

Q13. Valeur de la longueur d'onde :

Q14. Source d'erreur :

Appel n°5

Q15. Tracé du graphique (aucune réponse écrite demandée).

Q16. Valeur de θ_{mes} :

Appel n°6

Q17. Calcul de θ_{th} :

Q18. Comparaison des valeurs calculée et mesurée et conclusion sur le phénomène :

Q19. Calcul de θ_{th} dans une situation de concert et descriptions des conséquences de l'effet de baffle pour les personnes concernés :

Q20. Intérêt de placer plusieurs baffles :

Appel n°7

PARTIE C (Durée maximale : 40 min)

Q21. Protocole proposé :

Appel n°8

Q22. Résultats :

Q23. Conclusion :

