

CONCOURS EXTERNE D'INGENIEUR D'ETUDE

N° 2017 – IE – CE – 01

Epreuve écrite

Barème sur 70 (note finale ramenée sur 20, coefficient 2) – Durée : trois heures (3h)

Lundi 26 juin 2017 de 8h30 à 11h30

Veillez à respecter l'anonymat dans les réponses

-
- L'épreuve contient des exercices de rédaction. La qualité de la rédaction, de la présentation, l'orthographe et la grammaire seront prises en compte ;
 - Pour la partie 1 (connaissances fondamentales), donnez des réponses brèves. Il n'est pas nécessaire de rédiger ni de justifier votre réponse dans cette partie.
 - Pour les parties 2 (études de cas) et 3 (connaissances générales), rédigez votre réponse.
 - Certaines réponses se feront directement sur l'énoncé. N'oubliez pas de remettre le texte de l'épreuve dans la copie.
 - Le candidat peut traiter les exercices dans l'ordre de son choix.

Valeurs numériques :

$$\log_{10} 2 \approx 0.3$$

Célérité du son dans l'air : $c=340$ m/s

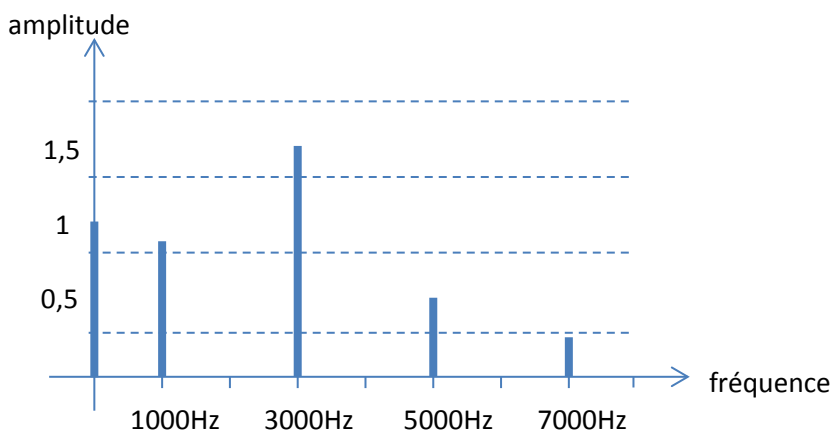
Exercice 1 : Connaissances en acoustique**(10 points)**

- 1.1. En quelle unité est exprimée une « pression acoustique » ? Qu'est-ce qu'un « niveau sonore », comment est-il relié à la pression acoustique et en quelle unité est-il exprimé ?
- 1.2. Une mesure du bruit au passage d'un tramway en un point P indique 45 dB(A).
Que signifie et représente le « (A) » après « dB » et quel est son intérêt ?
- 1.3. Quelle est la longueur d'onde d'un son pur à 1000 Hz dans l'air ?
- 1.4. Quelles sont les valeurs extrémales f_{min} et f_{max} de la bande tiers d'octave centrée en f_0 ?
 $\square f_0 \cdot 2^{-\frac{1}{2}}$ et $f_0 \cdot 2^{+\frac{1}{2}}$ $\square f_0 \cdot 2^{-\frac{1}{3}}$ et $f_0 \cdot 2^{+\frac{1}{3}}$ $\square f_0 \cdot 2^{-\frac{1}{6}}$ et $f_0 \cdot 2^{+\frac{1}{6}}$
- 1.5. Quelle est la différence entre les niveaux de pression d'un bruit blanc dans l'octave centrée sur 2000 Hz et dans l'octave centrée sur 1000 Hz ?
- 1.6. Le niveau de pression d'une source ponctuelle omnidirectionnelle de bruit blanc en champ libre est mesuré à 5 m et indique 70 dB. Donner une estimation du niveau de pression à 20 m de cette source.
- 1.7. Le niveau de bruit global résultant de plusieurs bruits non corrélés deux à deux peut être obtenu en sommant :
 - ☐ les pressions efficaces
 - ☐ les carrés des pressions efficaces
 - ☐ les niveaux de pression
- 1.8. Quels sont les paramètres qui permettent de caractériser la réflexion / l'absorption d'une surface ?
Donnez une définition de ces paramètres.
- 1.9. Soit une source ponctuelle en champ libre et un capteur situé à 10 m de cette source.
Comment est modifié le niveau de bruit mesuré sur le capteur si la source est posée sur un plan parfaitement réfléchissant ?
- 1.10. Une onde plane se propage et entre en contact avec un plan réfléchissant en incidence normale.
Comment est l'onde réfléchi ? Que pouvez-vous dire du champ acoustique total ?

Exercice 2 : Connaissances en traitement du signal

(8 points)

Soit le signal $S(t)$ dont le spectre a l'allure suivante :



2.1. A quelle famille de signaux le signal $S(t)$ appartient-il ?

Indiquez le nom de ses composantes fréquentielles de ce spectre.

2.2. Quelle est la moyenne et la période de ce signal ?

2.3. Pour conserver uniquement la composante fondamentale, faut-il utiliser un filtre :

☐ passe-bande

☐ coupe-bande

☐ passe-bas

☐ passe-haut

Proposer une(des) valeur(s) pour sa(ses) fréquence(s) de coupure.

2.4. On souhaite échantillonner le signal $S(t)$ avec une fréquence d'échantillonnage $f_e=8\text{kHz}$. Sans autre précaution, que devient le spectre du signal échantillonné ?

Que proposez-vous pour effectuer un échantillonnage correct de ce signal ?

2.5. On souhaite calculer le spectre en bandes fines (calcul par FFT) à partir de l'observation d'une durée T de ce signal. Que se passe-t-il si la durée T n'est pas un nombre entier de périodes du signal ?

Quelle solution proposez-vous pour limiter cet effet ?

2.6. Vous disposez d'un analyseur qui propose les fonctions suivantes pour calculer et afficher le spectre d'un signal acoustique :

▪ densité spectrale d'énergie

▪ densité spectrale de puissance

▪ spectre de puissance

A quelle famille de signaux (aléatoire stationnaire, périodique, transitoire) associez-vous chacune de ces fonctions ?

Précisez l'unité adaptée à chaque choix pour un affichage en dB (dB re. 1Pa^2 , dB re. $1\text{Pa}^2\text{s}/\text{Hz}$ ou dB re. $1\text{Pa}^2/\text{Hz}$).

2.7. On considère à présent un bruit de nature aléatoire stationnaire. Vous disposez d'un analyseur pour effectuer une analyse spectrale de ce signal.

Quels paramètres aurez-vous besoin d'ajuster pour améliorer la qualité du spectre obtenu, en raison de ce caractère aléatoire ?

Exercice 3 : Connaissances en acoustique environnementale

(4 points)

- 3.1. Une source sonore se trouve en milieu extérieur. Citez les facteurs qui peuvent influencer la propagation du bruit à longue distance.
- 3.2. Un riverain se trouve confronté à une situation sonore bruyante en provenance d'un type de sources sonores identifié. Quelles sont les stratégies de réduction possibles ?
- 3.3. Citez 3 indicateurs utilisés en acoustique environnementale.

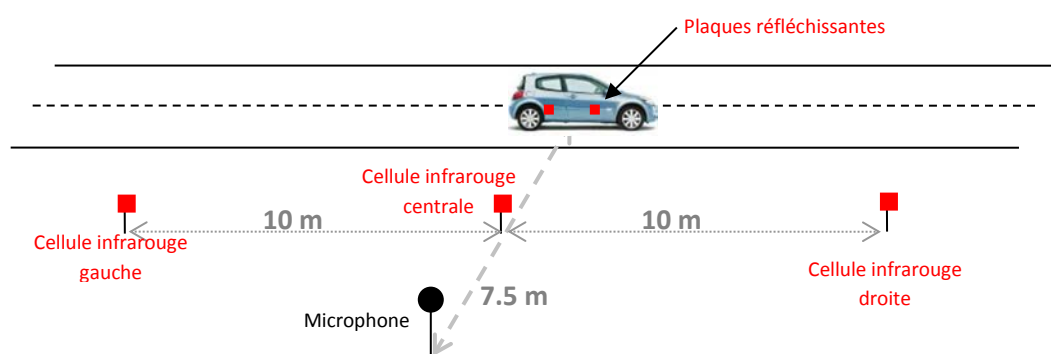
Exercice 4 : Connaissances en métrologie et méthodes expérimentales

(3 points)

- 4.1. Quelles sont les caractéristiques principales à prendre en compte lors du choix d'un microphone ?
- 4.2. Dans quel but a-t-on recours à des méthodes d'imagerie acoustique ? Quels sont les équipements matériels fondamentaux requis pour ces méthodes ?

Exercice 5 : 1^{ère} étude de cas – Organisation d'une campagne expérimentale de mesure de bruit au passage (10 points)

Vous venez d'être recruté au LAE. Pour alimenter la base de données du laboratoire servant à caractériser l'émission de bruit des véhicules du parc en circulation en France, vous êtes chargé d'organiser une campagne expérimentale visant à mesurer le bruit maximal émis par deux véhicules légers (un à motorisation essence, l'autre à motorisation diesel) pour différentes allures et vitesses de passage. Le principe général consiste à faire circuler le(s) véhicule(s) dans la zone de mesures dans différentes conditions de passage contrôlées. Le dispositif expérimental mis en place en bord de piste est succinctement décrit dans la figure suivante. En complément de la mesure de grandeurs acoustiques, il inclut l'enregistrement d'informations liées à la cinématique du véhicule (cellules infrarouges et plaques réfléchissantes).



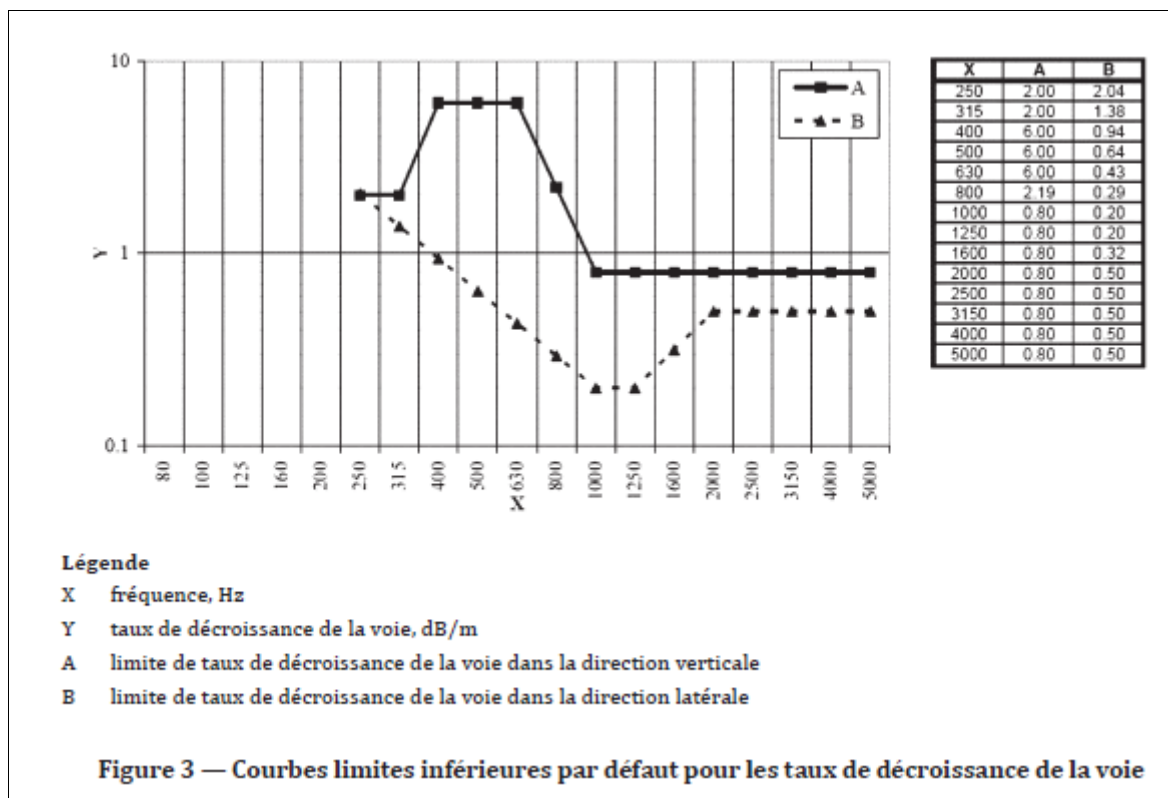
La campagne expérimentale, d'une durée estimée à 1 journée doit impérativement être planifiée avant fin Juillet et être réalisée dans des conditions météorologiques satisfaisantes (absence de pluie et de vent). Les mesures se dérouleront sur des pistes d'essais gérées par une entité distincte de l'IFSTTAR. Les 2 véhicules seront loués auprès d'une société de location, qui n'est pas à proximité immédiate des pistes. L'Ifsttar possède un fourgon disponible pour le transport du matériel si besoin, disponible sur réservation.

L'objectif de cet exercice est que vous indiquiez comment vous vous organisez pour préparer cette campagne expérimentale pour chacune des échéances suivantes : 1 mois avant, quelques jours avant, la veille et le jour même. Pour chaque échéance vous indiquerez les actions que vous devrez effectuer, les points de vigilance qu'il vous paraît important de surveiller, le nombre de personnes à impliquer ainsi que leur rôle pour un déroulement correct de l'expérimentation.

Vous décrirez uniquement les étapes de préparation de la campagne et le déroulement-même de cette dernière en matière d'organisation (hors protocole de mesure).

Exercice 6 : 2^{ème} étude de cas – Mesure du taux de décroissance d'une voie ferroviaire**(20 points)**

Les mesures nécessaires à l'homologation acoustique des véhicules ferroviaires font l'objet de la norme NF EN ISO 3095:2013. Cette norme précise les conditions requises pour mesurer le bruit émis par les véhicules circulant sur rails. En particulier, les caractéristiques de la voie utilisée doivent répondre à certaines exigences pour que les mesures soient valides. Parmi celles-ci, le taux de décroissance caractérise l'amortissement des vibrations dans le rail. La norme définit les limites inférieures des taux de décroissance de la voie dans les directions verticale et latérale (ci-dessous Figure (3) extraite de la norme).



En se basant sur des hypothèses de poutre pour modéliser le rail, on peut montrer que le champ vibratoire dans un rail soumis à une excitation vibratoire ponctuelle à une fréquence f est principalement constitué de deux ondes vibratoires (rail en flexion verticale et en flexion latérale) se propageant de part et d'autre de l'excitation. Pour chacune de ces ondes, le taux de décroissance en dB/m, à la fréquence f et pour l'abscisse z le long du rail, est donné par :

$$D(f, z) = \frac{L_v(f, 0) - L_v(f, z)}{z}$$

- $L_v(f, 0)$ est le niveau de vitesse vibratoire au droit du point d'excitation (abscisse $z = 0$) à la fréquence f .
- $L_v(f, z)$ est le niveau de vitesse vibratoire à une distance z du point d'excitation à la fréquence f .

Le taux de décroissance est théoriquement constant avec z . Il est différent pour les ondes verticales et pour les ondes latérales.

Vous êtes chargé de préparer une campagne de mesures permettant d'estimer ces taux de décroissance sur une voie donnée.

6.1. Vous vous intéressez d'abord à l'excitation du rail. (7 points)

6.1.1. Donnez deux solutions possibles pour exciter ponctuellement en vibrations le rail, en précisant les manières de procéder pour les deux types d'onde à l'aide du schéma du rail ci-dessous



6.1.2. Pour chacune de ces solutions, donnez les caractéristiques du signal correspondant à la force appliquée sur le rail ; peut-on contrôler ces caractéristiques ?

6.1.3. Donnez les avantages et les inconvénients des deux solutions dans le cas présent et argumentez le choix d'une des deux solutions.

6.1.4. La mesure de la force appliquée sur le rail n'est pas indispensable pour la détermination des taux de décroissance. En quoi cette mesure peut-elle toutefois être utile à l'expérience ? Comment procéder pour obtenir cette information ?

6.2. Vous vous intéressez ensuite à la mesure des vibrations sur le rail. (6 points)

6.2.1. Donnez les grandeurs caractéristiques des vibrations, leur unité et la conversion de l'une à l'autre à une fréquence f donnée (en temporel et en formalisme complexe en régime monochromatique)

6.2.2. Parmi celles-ci, quelle est la grandeur vibratoire que l'on mesure généralement (pour les fréquences correspondant au domaine audible) ? Avec quel type de capteur ?

6.2.3. Pour choisir les capteurs que vous allez utiliser, sur quelles caractéristiques principales devez-vous porter votre attention ? Avez-vous tous les éléments pour faire votre choix ? Quel est le risque si vous n'utilisez pas le capteur optimal ? Quelle démarche proposez-vous pour diminuer ce risque ?

6.2.4. Quelle est la propriété du capteur (et l'unité correspondante) qui va vous permettre de connaître la gamme d'amplitude du signal électrique en sortie du capteur ? En quoi la connaissance précise de cette propriété est-elle cruciale ? Comment nomme-t-on la procédure permettant d'ajuster cette propriété ?

6.3. Expérimentation, acquisition et analyse des signaux (6 points)

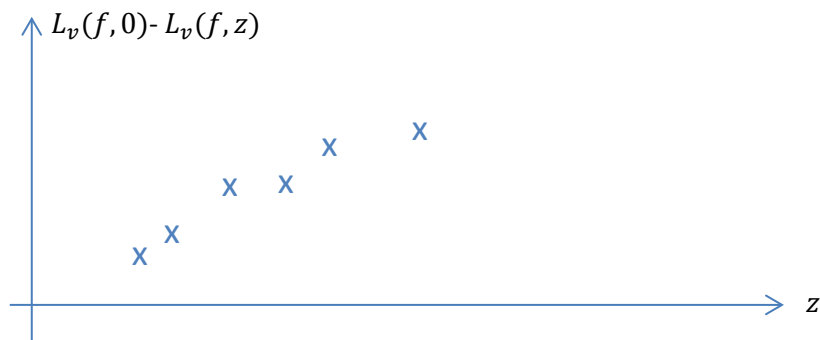
6.3.1. Listez tous les éléments et matériels nécessaires pour effectuer la mesure (on suppose une acquisition numérique)

Une fois les capteurs testés, vous vous consacrez ensuite à l'acquisition et l'analyse spectrale des données. Vous souhaitez en effet pouvoir effectuer cette analyse directement au moment des mesures et le logiciel d'acquisition offre cette possibilité. On considère dans cette partie que le signal d'excitation que vous avez choisi est transitoire et large bande et que vous optez pour une analyse en bandes fines.

- 6.3.2. Indiquez quels sont les paramètres que vous devez régler pour l'acquisition et l'analyse spectrale ainsi que la démarche adoptée pour les régler.
- 6.3.3. Quel est le pas fréquentiel des spectres en bandes fines que vous allez obtenir ? De quel paramètre dépend-il ?
- 6.3.4. Quel indicateur, généralement disponible dans les logiciels d'analyse spectrale, vous permettra d'estimer un premier niveau de qualité de la mesure en fonction de la fréquence ?

6.4. Calcul du taux de décroissance (1 point)

Pour vérifier l'hypothèse selon laquelle le taux de décroissance ne dépend pas de la distance z à l'excitation, vous réalisez des mesures pour plusieurs valeurs de z (de 1 à 5 m). Vous obtenez l'allure de résultats ci-dessous.



Quelle démarche adopteriez-vous pour délivrer une seule valeur de taux de décroissance ?

Partie 3 : Connaissances générales

(15 points)

Exercice 7 – Traduction

(5 points)

Traduire le texte suivant en anglais :

« La description de l'émission de bruit au passage de véhicules est effectuée au moyen de capteurs acoustiques placés en bord de route. La procédure la plus classique utilise un ou plusieurs microphones disposés à 7.5 m de l'axe de la voie et à une hauteur de 1.2 m dans des conditions environnementales et météorologiques spécifiées dans les normes. L'indicateur acoustique est la valeur maximale atteinte par le niveau de pression pondéré A pendant le passage du véhicule, exprimé en niveau global ou par bande de fréquence (octave ou tiers d'octave). »

Exercice 8 – Le Laboratoire d'Acoustique Environnementale

(4 points)

Citez un des équipements expérimentaux remarquables du LAE et décrivez son intérêt pour les recherches menées par le laboratoire (max. 5 lignes)

Exercice 9 – Veille scientifique et technologique

(6 points)

En moins de 10 lignes, décrivez une innovation technologique de toute nature qui pourrait bénéficier aux recherches en acoustique environnementale et expliquer comment.