Devoir surveillé n°4. Electricité. Propagation. Architecture de la matière.
PTSI1. 20 Janvier 2024. 4 heures.

Les portables, les calculatrices ainsi que tous les documents sont interdits.
Toute communication entre élèves est interdite.

<u>On tiendra compte de la présentation et de la rédaction pour la notation :</u> On prendra soin de laisser quelques lignes en début de copie, ainsi qu'une marge pour la notation, d'encadrer les résultats, de numéroter les questions, de mettre les unités après les applications numériques, de numéroter les copies et d'indiquer le nombre de copies.

<u>Problème n° 1. Chimie</u>

On donne les numéros atomiques Z des éléments :

Élément	H	N	O	S	Cl
Z	1	7	8	16	17

1. Que signifie Z ? Donner la configuration électronique des atomes du tableau dans l'état fondamental. Donner aussi leur place dans la classification périodique.

2 Donner la structure de Lewis de $\underline{N}H_3$, $\underline{N}O_2$,$\underline{S}O_2$, $\underline{S}O_3$, $\underline{Cl}O_4^-$ ainsi que leur représentation VSEPR, l'atome central étant l'atome souligné. On indiquera dans chaque cas : l'arrangement de base, la géométrie et un ordre de grandeur de l'angle entre les liaisons. Quelles sont les molécules polaires ? Justifier votre réponse.

<u>Problème n° 2. Propagation</u>

Un stylet vertical, de masse négligeable communique un mouvement vibratoire sinusoïdal de fréquence f=10Hz à un point S d'un liquide au repos. On choisit l'origine des temps de sorte que la position de la surface du liquide par rapport à sa position au repos S_0 soit donnée par l'expression : $y_S(t)=Y_m.\cos(\omega t)$, où ω est la pulsation et l'axe (Oy) étant suivant la verticale ascendante.

1) Représenter la fonction $y_S(t)$.

Les ondes se propagent à la surface du liquide avec une célérité $c = 20.10^{-2}$ m.s^{-1} = 20 cm.s^{-1}.

En régime permanent, un point M, situé à la distance d de la source, prend un mouvement sinusoïdal vertical, d'amplitude Y_m, de même fréquence que le mouvement de S et présentant par rapport à celui-ci un retard temporel Δt.

2) Exprimer Δt en fonction de c et de d.
3) Définir la longueur d'onde λ et déterminer sa valeur.
4) Donner l'expression de y(d,t) au point M et exprimer la différence de phase $\Delta\varphi$ entre les mouvements de M et de S en fonction de d et λ.
5) Que peut-on dire de ces mouvements lorsque d prend les valeurs suivantes :

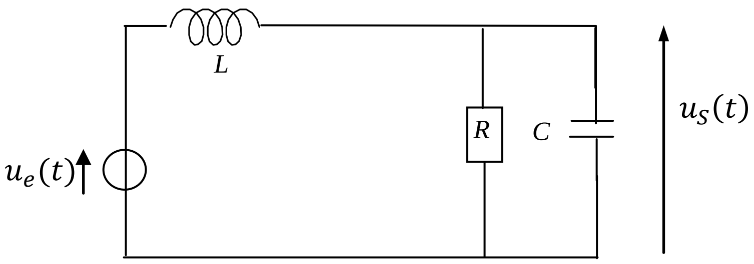
a) d_1 = 4cm
b) d_2 = 7,5cm
c) Dans le cas b) (d_2 = 7,5cm), représenter sur un même graphe $y_S(t)$ et y(d,t) au point M. Lequel de ces deux signaux est en avance sur l'autre ?

6) Représenter l'aspect de la surface de l'eau y(t,d) en fonction de d pour t_1 = 0,375 s.
7) En un deuxième point S', de la surface du liquide, on produit une vibration sinusoïdale verticale de même fréquence que celle émise par S. Les ondes émises par S et S' interfèrent en tout point M de la surface du liquide, les vibrations correspondant aux deux ondes ont en ce point des amplitudes égales et S et S' vibrent en phase :

a) Donner l'expression de $y_{S'}(t)$ en S'.
b) Donner les expressions de y(M,t) provenant de S et y'(M,t) provenant de S' en un point quelconque M situé à la distance d de S et à la distance d' de S'.
c) Déterminer l'expression du signal de l'onde $y_{sup}(M,t)$ résultant de la superposition des deux ondes en M. Montrer que ce signal est celui d'une onde progressive de même pulsation ω
d) Quelle est l'expression de l'amplitude $Y_{sup\,m}$ de cette onde ?
e) Déterminer l'expression de l'amplitude $Y_{sup\,m}$ dans le cas où la différence de marche, $\delta = |d - d'|$ est égale à 3 cm. Commenter.

Problème n°3. Filtre R, L, C

On considère le circuit suivant alimenté en régime sinusoïdal forcé avec $u_e(t) = U_{eM}\cos(\omega t)$.
La bobine et le condensateur sont considérés comme parfaits.



On s'intéresse à la tension de sortie $u_s(t)$ que l'on étudie sous la forme $u_S(t) = U_{SM}\cos(\omega t + \Phi)$.

1) Déterminer l'expression, en fonction de la pulsation, de l'amplitude complexe $\underline{U_{SM}} = U_{SM}.e^{j\Phi}$.

2) Montrer qu'on peut la mettre sous la forme canonique suivante :

$$\underline{U_{SM}}(\omega) = A.\frac{1}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 + j.\frac{\omega}{Q.\omega_0}}$$

Par identification, en déduire les expressions de ω_0, Q et A.

On utilisera cette forme canonique pour la suite du problème.

3) Que valent U_{SM} et Φ en $\omega = \omega_0$?

4) On donne ci-dessous la forme des courbe U_{SM} (ω) et Φ(ω) en degrés.

Quelle est la nature du filtre obtenu ? On justifiera la réponse.

5) Déterminer, à partir de lecture graphique sur les courbes, les valeurs de A, ω_0 et Q.

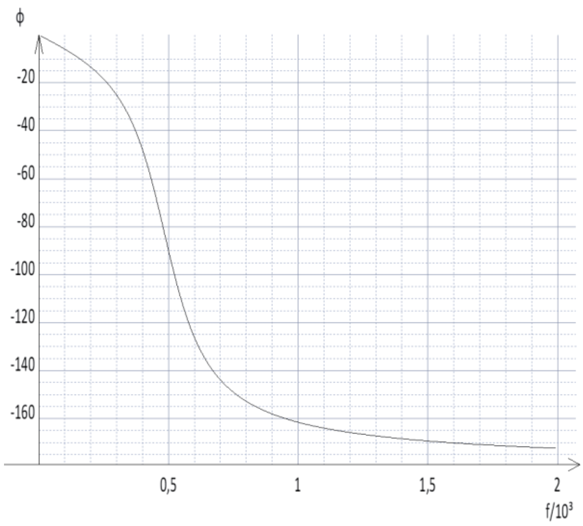
On définit la fonction de transfert par $\underline{H}(jx) = \frac{\underline{U_{SM}}}{\underline{U_{eM}}}$ avec $x = \frac{\omega}{\omega_0}$

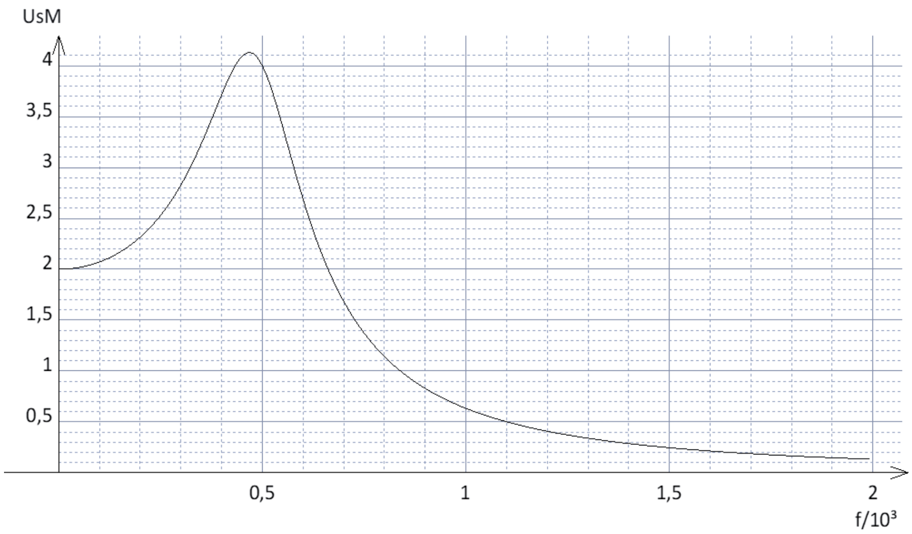
6) Donner l'expression de $\underline{H}(jx)$ en fonction de x et Q.

On veut tracer la courbe de réponse en gain de ce filtre en fonction de log x.

7) Etudier la fonction de transfert à basse fréquence et à haute fréquence et en déduire la pente des asymptotes du gain en décibel. Déterminer également la valeur du gain en décibel pour x=1.

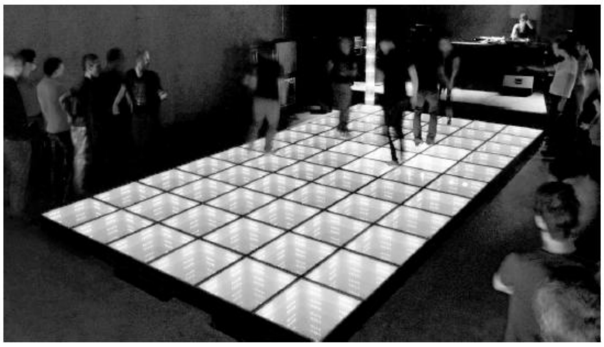
8) Tracer l'allure de la courbe de réponse en gain en fonction de *log x*.

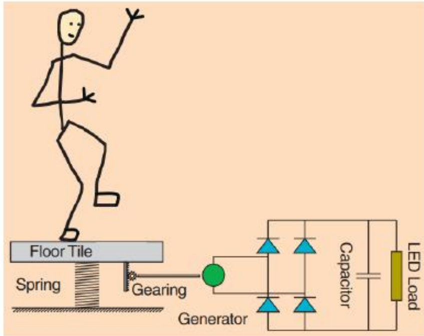




Problème n° 4. Récupération de l'énergie de vibration

Les vibrations du sol, provoquées par les piétons, les véhicules ou le vent, peuvent fournir une énergie récupérable au moyen de dispositifs qui font l'objet de recherches récentes. Il existe par exemple des systèmes de dalles pour piétons qui produisent de l'énergie électrique, dalles qui sont disposées sur la chaussée ou, comme ici, sur une piste de danse (document 1).





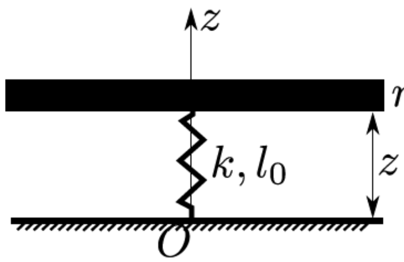
Document 1 : exemple de dispositif de récupération d'énergie des vibrations du sol.
D'après le fabricant, chaque dalle peut générer 35 W.

Source pour ce document et pour les valeurs exploitées dans l'énoncé : article "Power from the people" de DOI 10.1109/MIAS.2010.939649.

I. Étude en régime libre

En première approximation, le système est modélisé comme une masse m (qui comprend le danseur et la dalle support) posée sur un ressort et astreinte à se déplacer verticalement. C'est donc le système du document 2 qui nous intéresse.

On note k la raideur du ressort, l_0 sa longueur à vide. Le champ de pesanteur de norme g est dirigé vers le bas de la figure.



Document 2 : modèle simplifié du système réel.

1 - En raisonnant sur le système du document 2 et à l'aide d'un bilan des forces, établir l'expression de la position d'équilibre $z_{\text{éq}}$ de la masse, en fonction de k, l_0, m et g.

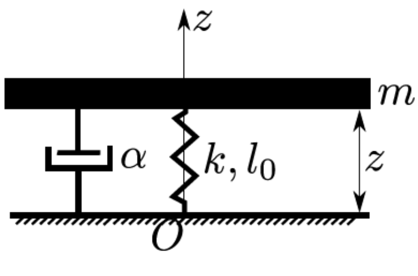
2 - Établir ensuite l'équation différentielle suivie par la variable $z(t)$ lorsque le système est mis en mouvement.

3 - Donner l'expression générale des solutions de cette équation, sans déterminer la ou les constantes d'intégration.

Quelle est la nature du mouvement ?

On constate expérimentalement que les oscillations sont amorties. Pour rendre compte de ceci, il est nécessaire d'ajouter au modèle du document 2 un amortissement. On obtient alors le modèle du document 3.

L'amortisseur exerce sur la masse une force $\vec{F} = -\alpha\,\vec{v}$ avec $\vec{v}$ le vecteur vitesse de la masse et α une constante positive.



Document 3 : modèle simplifié du système réel qui prend en compte l'amortissement.

4 - En raisonnant sur le système du document 3, établir l'équation différentielle suivie par la variable $z(t)$.

5 - Mettre l'équation obtenue sous la forme :

$$\ddot{z} + \frac{\omega_0}{Q}\,\dot{z} + \omega_0^2\,z = \omega_0^2 z_e, \qquad (1)$$

avec ω_0, Q et z_e des constantes dont on donnera les expressions en fonction de m, k, l_0, g et α.

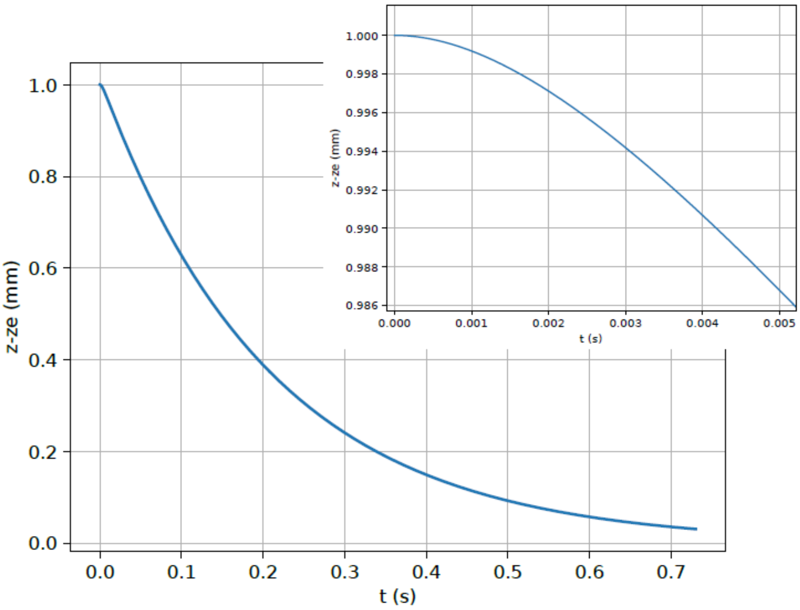
6 - Rappeler les noms des trois régimes possibles pour les solutions de ce type d'équation différentielle du second ordre, et indiquer les valeurs du facteur de qualité Q qui correspondent à chaque régime.

D'après le tableau de valeurs numériques ci-dessous, dans quel régime est-on ?

Tableau des paramètres retenus par le constructeur, et valeurs déduites pour quelques grandeurs :

m	k	α	ω_0	Q	$z_e - l_0$	$T_0 = \dfrac{2\pi}{\omega_0}$	$f_0 = \dfrac{1}{T_0}$
$80\,\text{kg}$	$1{,}5 \times 10^5\,\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$	$3{,}0 \times 10^4\,\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$	$43\,\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$	$0{,}11$	$-5\,\text{mm}$	$0{,}15\,\text{s}$	$6{,}9\,\text{Hz}$

7 - Le document 4 ci-contre montre le tracé de la solution $z(t) - z_e$. En déduire les conditions initiales qui ont été choisies pour ce tracé.



Document 4 : tracé de $z(t) - z_e$ et zoom aux temps courts.

II. Étude en régime sinusoïdal forcé

Dans la pratique, le système est mis en mouvement par le danseur qui, debout sur la dalle, bouge de haut en bas. Il est alors nécessaire d'étudier la réponse du système en régime sinusoïdal forcé.
On prend la hauteur d'équilibre de la dalle comme origine, on a donc désormais $z_e = 0$.

- On note $z_d(t) = A\cos(\omega t)$ la hauteur du centre de masse du danseur (à une constante additive près). Le facteur A est positif.
- On étudie le régime permanent où la position de la dalle, repérée par rapport à sa position d'équilibre, est de la forme $z(t) = Z_m \cos(\omega t + \varphi)$ avec $Z_m > 0$.
- On utilise la représentation complexe : $z_d(t)$ est représenté par $\underline{z_d}(t) = A\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}\omega t}$, et $z(t)$ est représenté par $\underline{z}(t) = \underline{Z_m}\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}\omega t}$ avec $\underline{Z_m} = Z_m \mathrm{e}^{\mathrm{j}\varphi}$. (Avec comme d'habitude j le complexe tel que $\mathrm{j}^2 = -1$).

On admet qu'une démarche similaire à celle de la sous-partie précédente mène à l'équation du mouvement suivante :

$$\ddot{z} + \frac{\omega_0}{Q}\,\dot{z} + \omega_0^2\, z = -\mu\, \ddot{z}_d, \tag{2}$$

avec les mêmes valeurs numériques que dans le tableau précédent pour ω_0 et Q, et avec μ une constante donnée par $\mu = (\text{masse du danseur})/m \simeq 0{,}7$.

8 - À partir de cette équation, établir l'expression de l'amplitude complexe $\underline{Z_m}$ en fonction de ω, ω_0, Q, μ et A.

9 - En déduire une expression de l'amplitude Z_m en fonction des mêmes paramètres.

10 - Donner l'expression de la limite de Z_m à basse fréquence. Faire de même à haute fréquence.

Problème n° 5. L'internet par ADSL

De plus en plus de logements sont équipés de l'internet par ADSL. Pour pouvoir simultanément téléphoner et rester connecté à internet, il faut équiper les prises téléphoniques d'un filtre ADSL.
Dans le **document 7** est présentée la fiche technique d'un filtre ADSL classique de type « gigogne ».
La partie de filtre qui nous intéresse est comprise entre les branches 1 et 3 (voir schéma de la fiche technique).

Les bobines peuvent s'associer en série ou en parallèle sur le même principe que des résistances.

On a représenté sur la **figure 5** une version simplifiée du filtre qui nous intéresse.

Q1. À l'aide de la fiche technique du **document 7**), donner les valeurs numériques des différents composants présents dans le schéma simplifié de la **figure 5**.

Q2. Par une étude basses et hautes fréquences du schéma simplifié, déterminer le comportement de ce filtre à vide et en déduire le type du filtre.
Ce comportement est-il modifié si le filtre est en charge sur une résistance de 600 Ω, qui est la résistance d'un téléphone ?

Q3. Cela est-il en accord avec le diagramme de Bode proposé dans la fiche technique présentée dans le **document 7**) ? On observera avec attention la grandeur placée en ordonnée.

Q4. Déterminer graphiquement la fréquence de coupure à 3 dB de ce filtre.

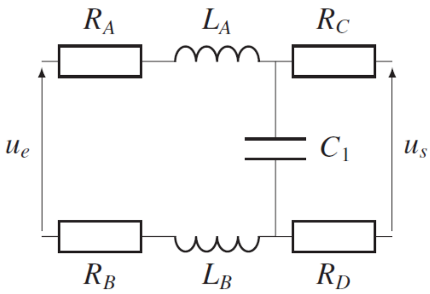


Figure 5 – Schéma simplifié du filtre

Le signal d'entrée est composé de fréquences correspondant à des sons audibles auxquelles sont superposées des fréquences élevées correspondant au signal ADSL, comme représenté de manière simplifiée sur la **figure 6**.
Le téléphone (résistance de 600 Ω) branché en sortie de ce filtre ne doit récupérer que le signal correspondant aux sons audibles.

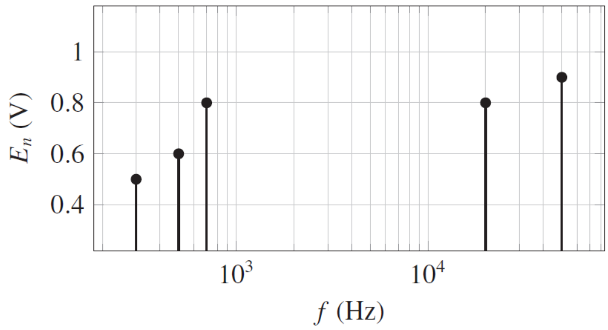


Figure 6 – Représentation spectrale d'un signal d'entrée en échelle semilog, avec E_n l'amplitude spectrale de la composante de fréquence f du signal d'entrée

Q5. Que peut-on dire du choix de la fréquence de coupure de ce filtre ? Justifier.

Q6. Donner l'allure de la représentation spectrale du signal obtenu en sortie du filtre ADSL.
On ne s'attachera pas ici à faire le calcul des amplitudes de chaque harmonique.

Q7. On cherche à recréer ce type de filtre uniquement avec une résistance R et un condensateur $C = 1$ nF. Proposer un montage correspondant en précisant les tensions en entrée et en sortie. On le justifiera par une étude basses et hautes fréquences.
Proposer une valeur numérique vraisemblable pour la résistance, compte tenu de la valeur du condensateur.

Q8. En quoi le filtre proposé dans le **document 7** est-il meilleur que ce simple filtre RC ?

Document 7 - Fiche Technique FILTRE Z-200FR (prises gigognes)

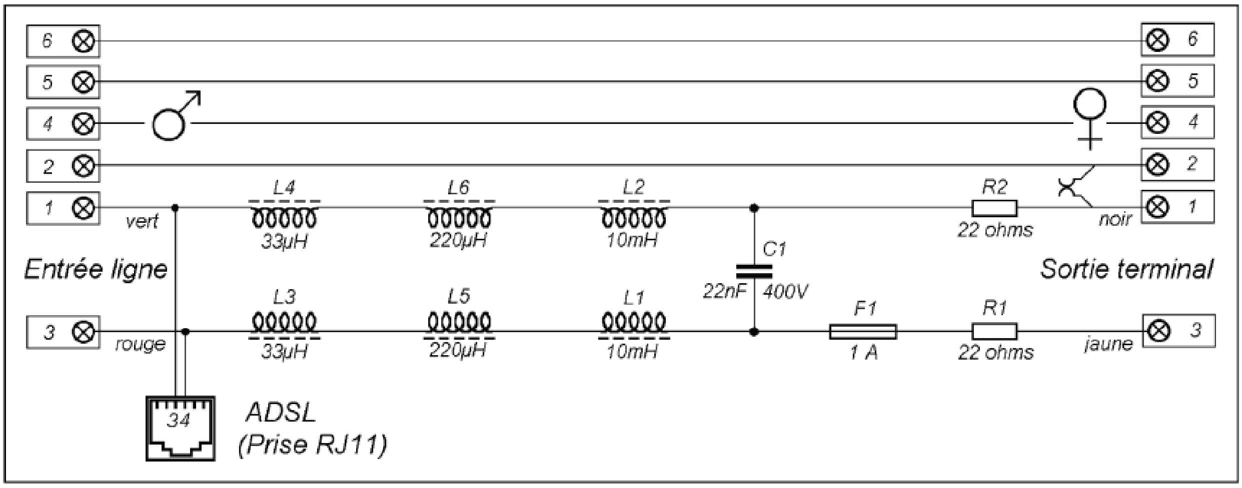


Figure 7 – Schéma technique du cablage électrique.

Description des composants

L1, L2 : enroulements réalisés sur des bobinettes de ferrite dont les plus grandes dimensions sont d = 8 mm et l = 10 mm. **L_1=L_2**=10mH
Résistance : 21 Ω ; Nombre de spires : 500 environ.
L5, L6 : enroulements réalisés sur des bobinettes de ferrite dont les plus grandes dimensions sont d = 4,5 mm et l = 5,5 mm. **L_5=L_6**=220µH
Résistance : 2 Ω ; Nombre de spires : 110 environ.
L3, L4 : enroulements de 15 ou 16 spires sur de minuscules tores de ferrite dont le plus grand diamètre n'atteint pas 5 mm. **L_3=L_4**=33µH
Résistance : négligeable.

Réponse en fréquence

L'affaiblissement d'insertion mesuré, soit l'opposé du gain, entre un générateur d'impédance de 600 ohms et une résistance de charge de 600 ohms, en l'absence de courant continu est donné sur la **figure 8**.

$$\mathbf{a}(dB) = -G_{dB}$$

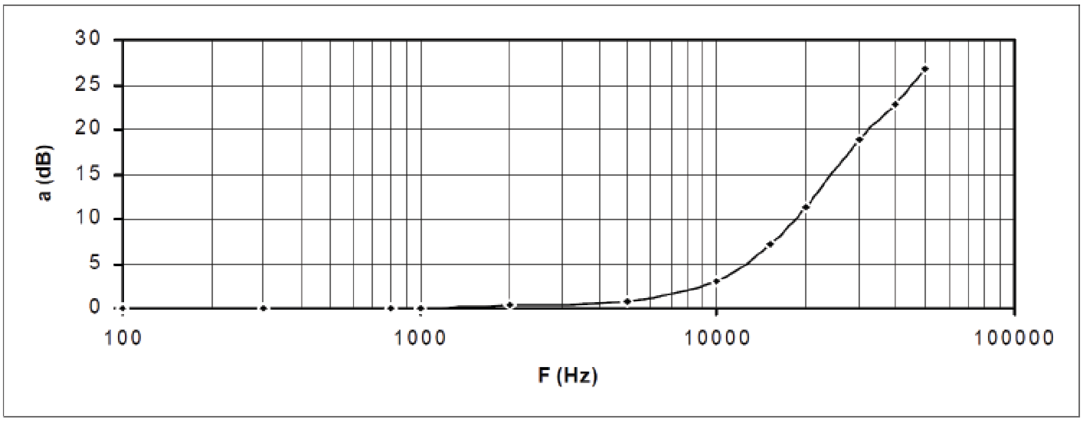


Figure 8 – Diagramme de Bode représentant l'affaiblissement d'insertion mesuré