

– DS (5) de physique-chimie –

Électrocinétique & Ondes

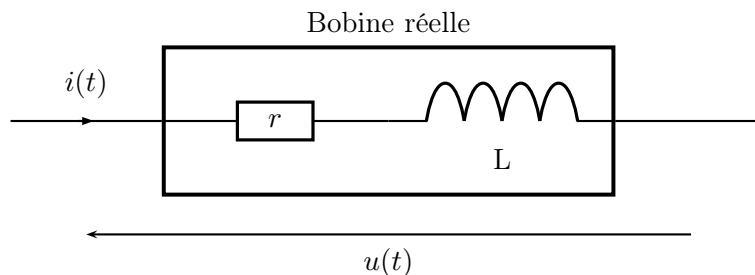
Le samedi 30 janvier 2021 - Durée 3h

Prologomènes : vous êtes invités à porter une attention particulière à la rédaction !

- Les fautes de français et les copies mal présentées seront pénalisées.
 - N'utilisez que des **copies doubles** que vous devrez **numéroter en indiquant le total** (par exemple 1/3, 2/3, 3/3).
 - Une **marge** doit être laissée pour la correction sur la partie **gauche** de votre copie.
 - Les réponses non justifiées et les applications numériques ne comportant pas d'unité **seront ignorées**.
 - Vous prendrez soin de bien **numéroter les questions** et **d'encadrer vos réponses**.
-

I Étude d'une bobine réelle

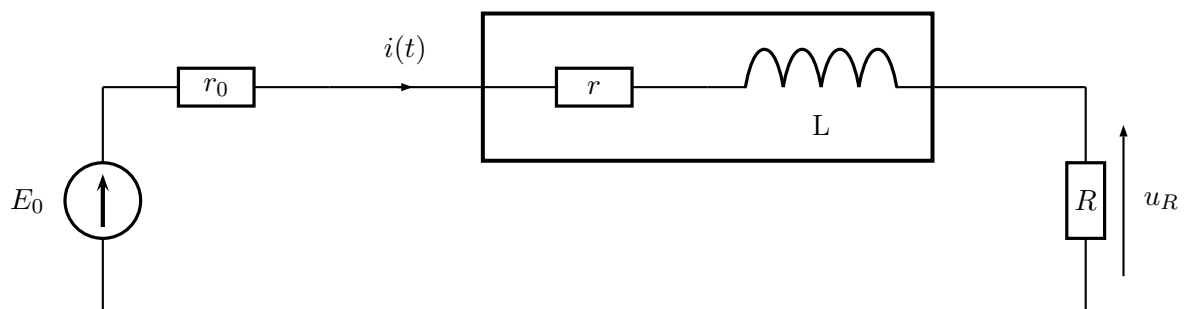
On dispose d'une bobine réelle que l'on assimilera à l'association série d'une bobine idéale d'inductance L et d'un conducteur ohmique idéal de résistance r où L et r sont des constantes positives, indépendantes de la fréquence.



I. A Détermination de r

1. La bobine réelle est parcourue par un courant $i(t)$. Exprimer la tension $u(t)$ à ses bornes en fonction de r , L , $i(t)$ et de sa dérivée par rapport au temps.

On réalise le circuit ci-dessous en plaçant en série avec la bobine réelle un conducteur ohmique idéal de résistance $R = 40 \, \Omega$. Le circuit est alimenté par un générateur de Thévenin de force électromotrice continue et constante $E_0 = 1,0 \, \text{V}$ et de résistance interne $r_0 = 2,0 \, \Omega$.

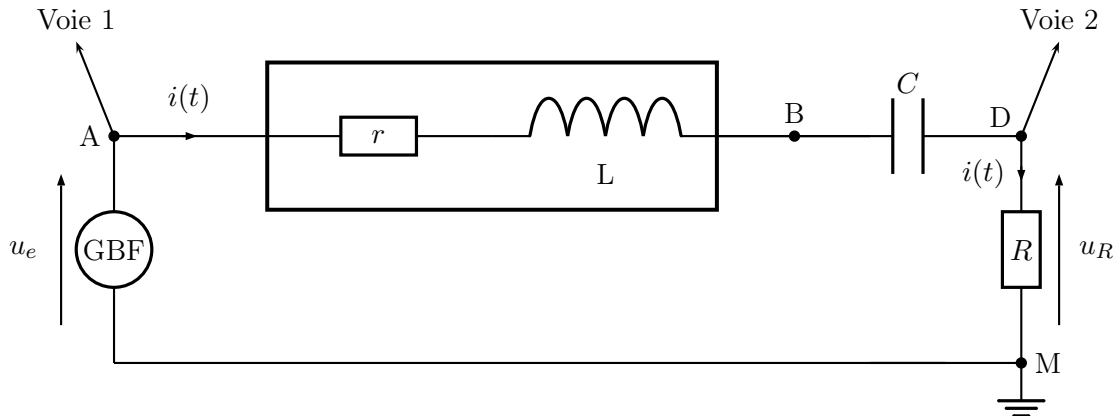


On mesure en régime permanent la tension U_R aux bornes du conducteur ohmique de résistance R .

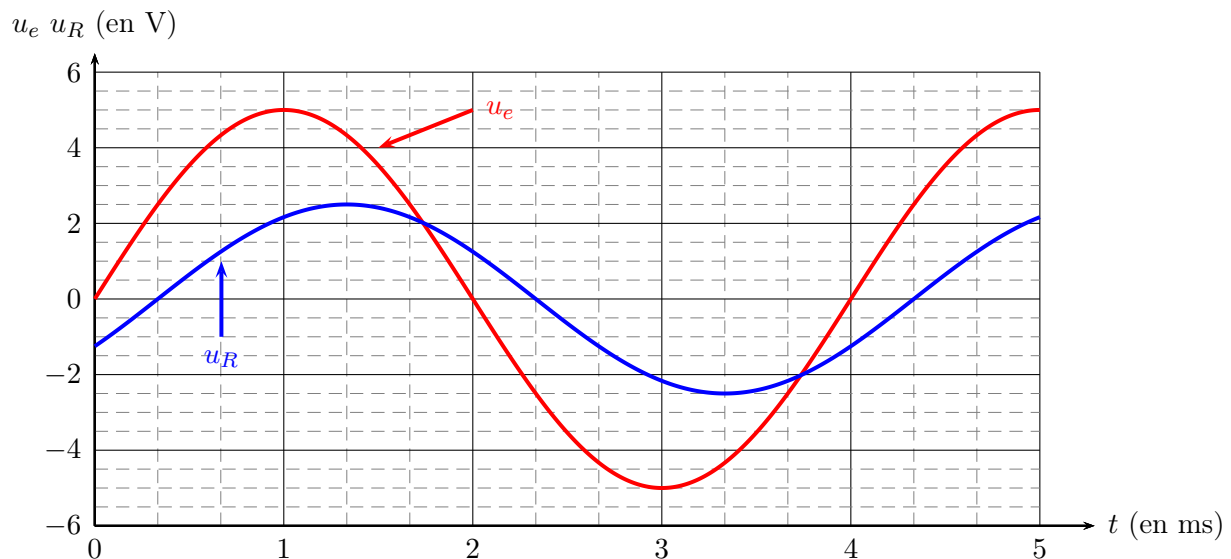
2. Exprimer r en fonction des données de cette question. Calculer numériquement r pour $U_R = 0,56 \, \text{V}$.

I.B Détermination de r et L à partir d'un oscillogramme

On place en série avec la bobine réelle un conducteur ohmique idéal de résistance $R = 40\ \Omega$ ainsi qu'un condensateur idéal de capacité $C = 10\ \mu\text{F}$. L'ensemble est alimenté par un GBF réglé pour délivrer une tension sinusoïdale de fréquence $f = 250\ \text{Hz}$ (la pulsation sera notée ω) et d'amplitude crête-à-crête de $U_0 = 10\ \text{V}$.



Deux tensions sont visualisées sur un oscilloscope numérique. L'oscillogramme obtenu est le suivant :



3. Quelles sont les valeurs de l'amplitude U_e de la tension u_e et l'amplitude U_R de la tension u_R ?
4. Quelle est la valeur de l'amplitude I du courant i ?
5. Rappeler l'expression générale de l'impédance complexe \underline{Z} d'un dipôle quelconque parcouru par un courant d'intensité i et soumis à une tension u . Calculer alors numériquement le module $Z_{AM} = |\underline{Z}_{AM}|$ de l'impédance du dipôle AM.
6. Des deux tensions $u_R(t)$ et $u_e(t)$, laquelle est en avance sur l'autre. On justifiera clairement la réponse d'après l'oscillogramme.
7. Déterminer **précisément** à partir de l'oscillogramme le déphasage $\varphi_{u_e/i}$ entre u_e et i .
8. Écrire l'expression générale de l'impédance complexe \underline{Z}_{AM} en fonction de r , R , L , C et ω .
9. Écrire l'expression générale de l'impédance complexe \underline{Z}_{AM} en fonction de son module Z_{AM} et du déphasage $\varphi_{u_e/i}$.
10. Exprimer r en fonction de R , Z_{AM} et $\varphi_{u_e/i}$. Calculer sa valeur.
11. Exprimer L en fonction de C , ω , Z_{AM} et $\varphi_{u_e/i}$. Calculer sa valeur.

I. C Etude de la fonction de transfert

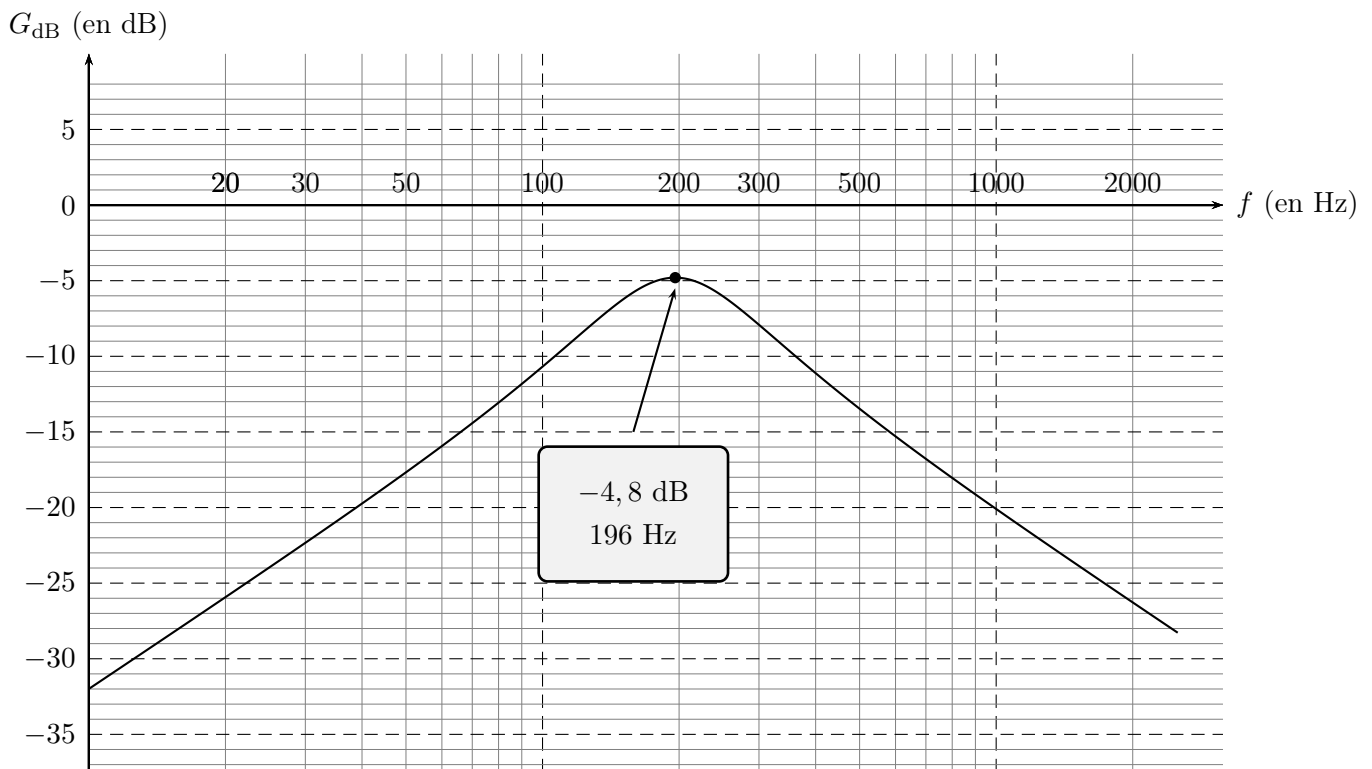
12. Rappeler la définition de la fonction de transfert \underline{H} d'un filtre ayant pour tension d'entrée $\underline{u_e}$ et pour tension de sortie et $\underline{u_R}$.
13. Proposer un schéma équivalent du circuit précédent pour les basses puis pour les hautes fréquences. En déduire la nature probable du filtre.
14. Exprimer \underline{H} en fonction de r , R , L , C et ω .
15. Mettre \underline{H} sous la forme :

$$\underline{H} = \frac{H_{\max}}{1 + jQ \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)}$$

On exprimera littéralement H_{\max} , le paramètre ω_0 ainsi que le facteur de qualité Q de ce circuit en fonction de r , R , L et C .

La figure ci-dessous présente le diagramme de Bode en amplitude du filtre précédent. On représente en ordonnées le gain en décibel $G_{\text{dB}} = 20 \log |\underline{H}|$ en fonction de la fréquence f sur une échelle logarithmique en abscisses.

16. Déterminer, à partir du graphe et des données initiales, les valeurs de r et L .



17. Établir l'expression littérale de la bande passante à -3 dB, notée $\Delta\omega$, en fonction de ω_0 et Q .
18. À partir d'une lecture graphique, estimer cette bande passante et retrouver la valeur numérique du facteur de qualité Q .

II Ondes acoustiques dans un tuyau cylindrique (*D'après ENAC 2020*)

Ce problème est du type questionnaire à choix multiples (QCM). Choisir, **en le(s) démontrant**, le(s) résultat(s) exact(s). Les résultats devant impérativement être démontrés, il n'y aura pas de points négatifs en cas de mauvaise réponse.

L'air contenu dans un tuyau cylindrique de longueur $L = OA = 2,00$ m est excité par un haut-parleur (HP) émettant des ondes acoustiques sinusoïdales de fréquence f . Un bouchon ferme l'extrémité droite du tuyau (figure 1). On note $\psi_n(x, t)$, où $n \in \mathbb{N}^*$, les fonctions d'ondes des ondes acoustiques dans le tuyau à l'abscisse x du point P (origine en O) et à l'instant t . La vitesse du son dans le tuyau vaut $c = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

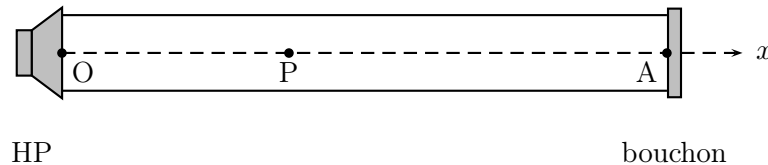


FIGURE 1

On observe dans le tuyau l'existence d'ondes stationnaires d'amplitude ψ_m . En présence du bouchon, elles vérifient les conditions aux limites ainsi que la condition initiale suivante :

$$\psi_n(0, t) = 0 \quad \psi_n(L, t) = 0 \quad \psi_n(x, 0) = 0$$

1. On note k_n la norme du vecteur d'onde et f_n la fréquence des ondes stationnaires. Les fonctions d'ondes $\psi_n(x, t)$ s'écrivent :

- (A) $\psi_n(x, t) = \psi_m \sin(2\pi f_n t - k_n x)$
- (B) $\psi_n(x, t) = \psi_m \cos(2\pi f_n t) \sin(k_n x)$
- (C) $\psi_n(x, t) = \psi_m \sin(2\pi f_n t) \sin(k_n x)$
- (D) $\psi_n(x, t) = \psi_m \cos(2\pi f_n t) \cos(k_n x)$

2. Compte tenu des conditions aux limites et de l'expression des fonctions d'ondes :

- (A) $x = 0$ et $x = L$ sont des ventres de vibration
- (B) $x = 0$ et $x = L$ sont des noeuds de vibration
- (C) 2 ventres de vibration successifs sont distants de $\frac{\lambda}{2}$
- (D) 2 ventres de vibration successifs sont distants de $\frac{\lambda}{4}$

3. En prenant $n \in \mathbb{N}^*$, les longueurs d'ondes λ_n des ondes stationnaires qui peuvent exister dans le tuyau vérifient :

- (A) $\lambda_n = \frac{L}{n}$
- (B) $\lambda_n = \frac{2L}{n}$
- (C) $\lambda_n = nL$
- (D) $\lambda_n = 2nL$

4. La fréquence f_1 de l'harmonique fondamentale vaut :
 - (A) $f_1 \simeq 6$ mHz
 - (B) $f_1 \simeq 12$ mHz
 - (C) $f_1 = 42,5$ Hz
 - (D) $f_1 = 85$ Hz

5. Le mode propre $\psi_1(x, t)$ peut être obtenu par superposition d'une onde progressive de fonction d'onde $\frac{\psi_m}{2} \cos(2\pi f_1 t - k_1 x)$ et d'une onde progressive de fonction d'onde $\frac{\psi_m}{2} \cos(2\pi f_1 t + \varepsilon k_1 x + \varphi)$ telle que :
 - (A) $\varepsilon = +1$
 - (B) $\varepsilon = -1$
 - (C) $\varphi = +\pi$
 - (D) $\varphi = -\pi$

III Détermination expérimentale d'un filtre inconnu

Un montage électrique comportant un GBF, un filtre inconnu (noté F_1) et un oscilloscope est réalisé dans la salle de TP du lycée Saint-Louis. Cette expérience a pour but de déterminer le plus précisément possible, la nature et les caractéristiques du filtre F_1 utilisé. Pour cela, les expérimentateurs ont acquis huit oscillogrammes qui sont reproduits en annexe de ce sujet. Sur chaque oscillogramme, le signal d'entrée du filtre F_1 a été acquis sur la voie 1 (en jaune) et correspond à la tension délivrée par le GBF. Le signal de sortie est quant à lui représenté sur la voie 2 (en vert). Les principaux réglages de l'oscilloscope sont rappelés sur chaque oscillogramme.

Les réponses à chacune des questions posées de ce problème devront être justifiées très précisément et on s'appuiera pour cela le plus souvent possible sur la lecture des oscillogrammes.

III. A Acquisition des oscillogrammes

1. Quelle est la voie utilisée dans le menu « trigger » de l'oscilloscope pour déclencher l'acquisition de tous les oscillogrammes ?
2. Évaluer numériquement la tension seuil choisie pour le déclenchement des acquisitions.
3. On s'intéresse dans cette question uniquement aux oscillogrammes ① et ②. Pour chacun d'entre eux, donner :
 - (a) la base de temps utilisée,
 - (b) les sensibilités respectives des deux voies d'acquisition,
 - (c) la fréquence des signaux acquis,
 - (d) la valeur efficace de chacun d'entre eux.
4. Représenter sur un schéma le montage expérimental en y faisant figurer les branchements entre les différents appareils.

III. B Etude du filtre inconnu

- À partir des huit oscillogrammes, tracer point par point sur le papier semi-log fourni en annexe le diagramme de Bode en amplitude associé au filtre F_1 . On précisera sur la copie la démarche utilisée pour exploiter quantitativement ces oscillogrammes.
- En déduire la nature du filtre F_1 et proposer une valeur pour son ordre.
- Évaluer numériquement la bande passante en fréquence à -3 dB, notée Δf .
- Les expressions canoniques des fonctions de transfert de quelques filtres usuels sont données dans le tableau qui suit en fonction de la fréquence f du signal d'entrée :

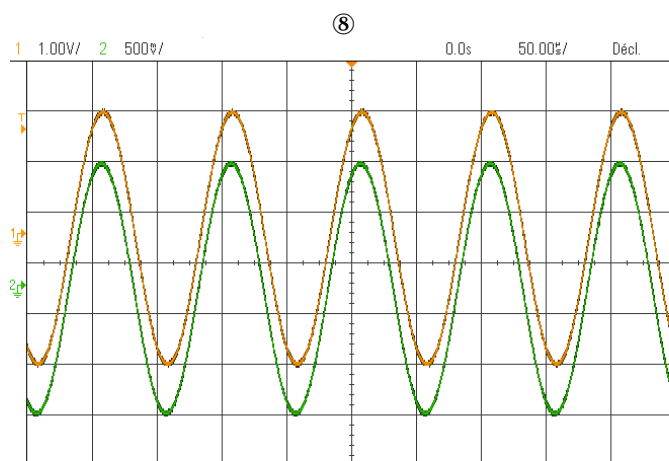
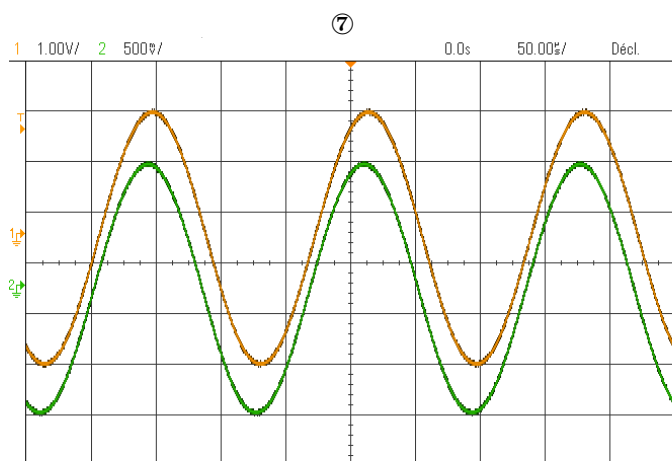
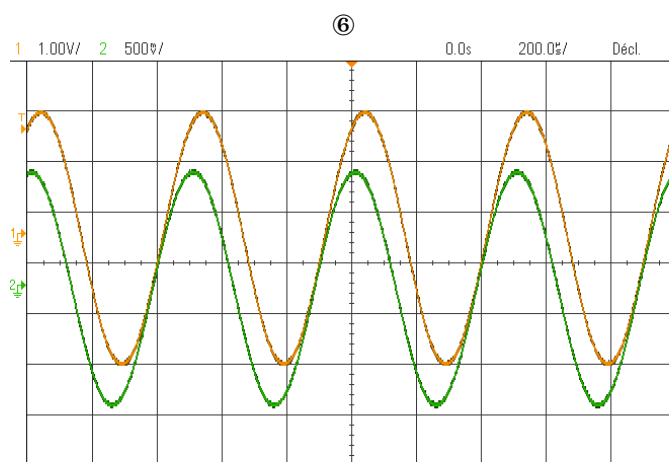
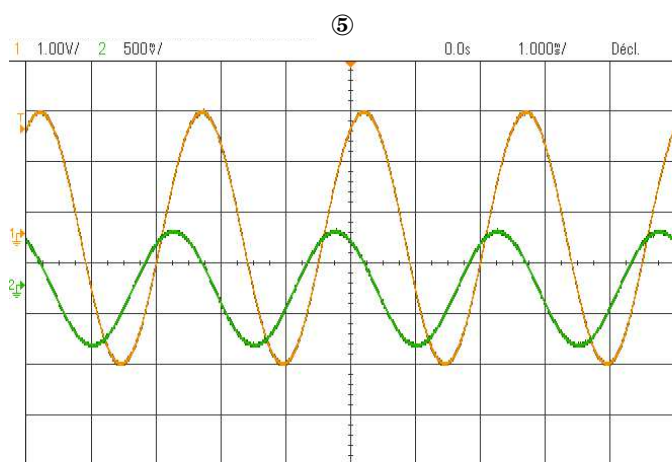
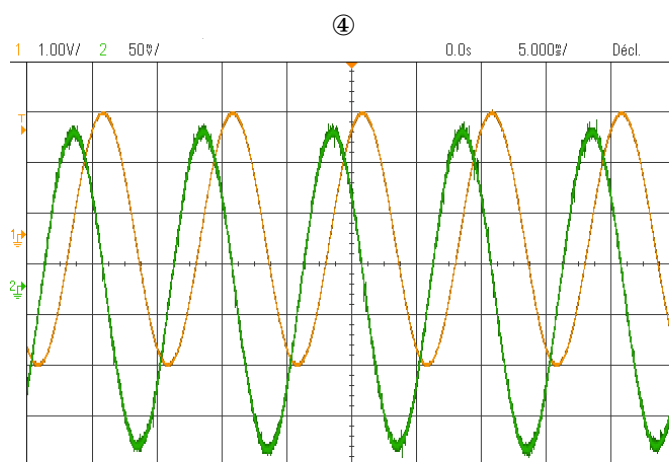
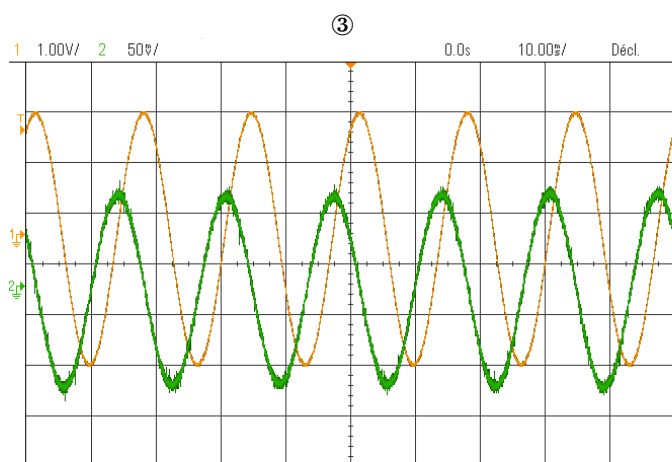
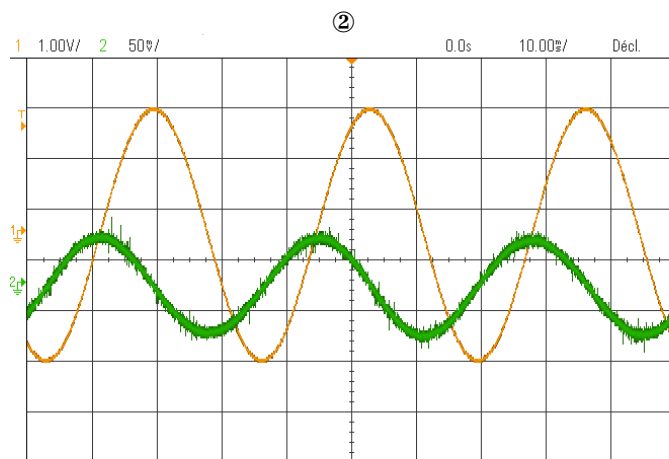
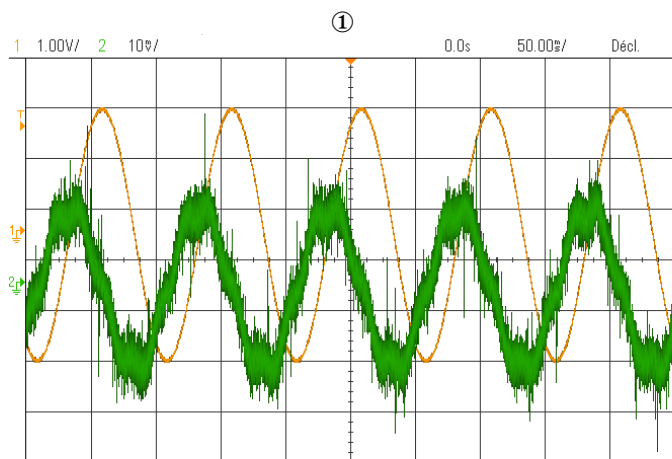
①	②	③	④
$\underline{H}(f) = \frac{H_0}{1 + j \frac{f}{f_0}}$	$\underline{H}(f) = \frac{H_0}{1 - j \frac{f_0}{f}}$	$\underline{H}(f) = \frac{H_0}{\left[1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)^2\right] + j \frac{f}{Q f_0}}$	$\underline{H}(f) = \frac{H_0}{1 + jQ \left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f}\right)}$

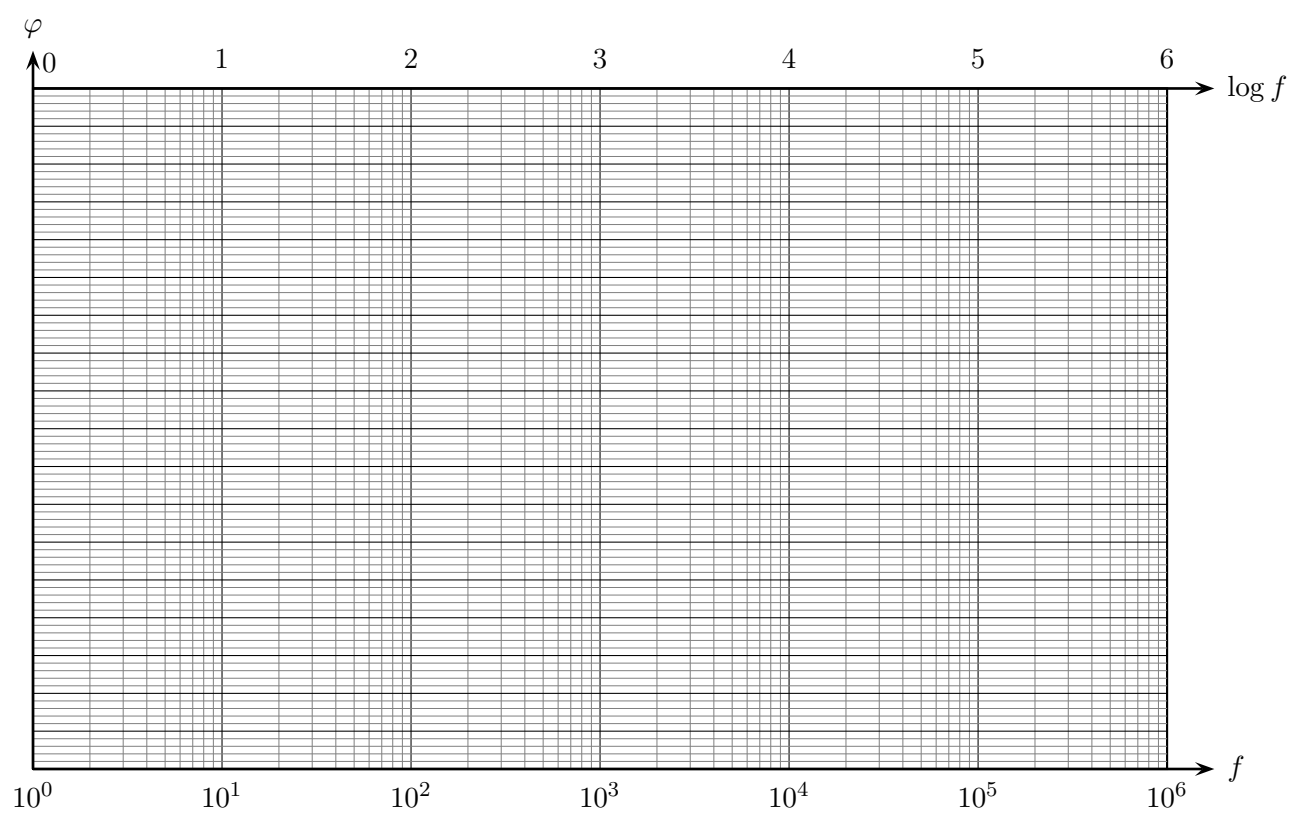
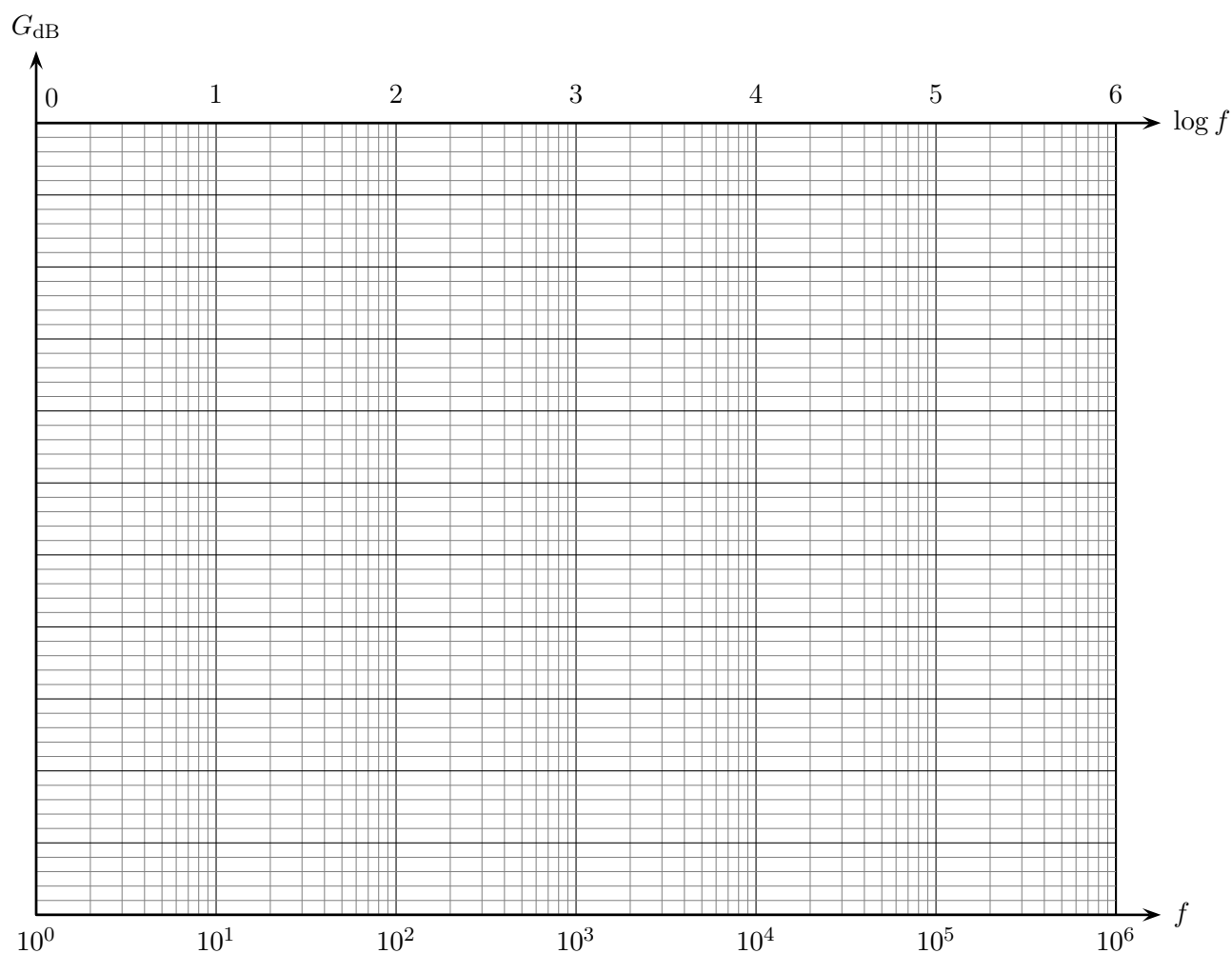
Ces expressions font intervenir les paramètres caractéristiques H_0 , f_0 et éventuellement Q .

- Parmi ces fonctions de transfert, quelle est la seule qui puisse correspondre au filtre F_1 ?
 - La fonction de transfert identifiée à la question précédente est-elle en accord avec l'évolution du déphasage $\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$ entre les voies 2 et 1 de l'oscilloscope ? On pourra représenter l'allure de l'évolution de φ sur le papier semi-log fourni en annexe.
 - Que représentent H_0 , f_0 et éventuellement Q dans la fonction de transfert choisie ?
- Déterminer les valeurs numériques des paramètres caractéristiques (notés $H_{0,1}$, $f_{0,1}$ et éventuellement Q_1) du filtre F_1 .
 - Représenter le schéma électrique d'un filtre (noté F_2), que vous connaissez, de même nature et de même ordre que F_1 .
 - Établir la fonction de transfert associée à F_2 et déterminer les expressions littérales des paramètres $H_{0,2}$, $f_{0,2}$ et éventuellement Q_2 de F_2 .
 - Représenter sur votre copie, après l'avoir justifiée, l'allure (forme du signal, fréquence, amplitude, déphasage et valeur moyenne) qu'aurait le signal de sortie du filtre F_1 s'il était soumis à un signal d'entrée de forme triangulaire, de fréquence 10 Hz, d'amplitude 10 V, de phase initiale nulle et de valeur moyenne égale à 1 V.

III. C Résolution de problème

- Justifier qu'il est impossible de réaliser le filtre inconnu F_1 grâce au filtre F_2 , quelles que soient les valeurs utilisées pour les composants électriques de ce dernier.
- Proposer un quadripôle électrique (noté F_3) ne contenant que des conducteurs ohmiques et des condensateurs et possédant exactement la même fonction de transfert que F_1 .
- Proposer des valeurs numériques pour la(es) résistance(s) et le(s) condensateur(s) présents dans F_3 .





FIN DE L'ÉNONCÉ

* * *