

Ce document est un exemple de sujet, il comporte des indications sur les résultats bruts de mesures. Ces indications apparaissent sur fond coloré.

ÉCOLE POLYTECHNIQUE - ESPCI

CONCOURS D'ADMISSION

# ÉPREUVE DE TRAVAUX PRATIQUES DE PHYSIQUE ÉLECTRONIQUE SUJET CE 801

**Notations utilisées** Toutes les tensions utiles sont repérées par rapport à la masse commune des différents circuits, notée M. La tension notée  $V_S(t)$  désigne la différence de potentiel entre la borne S et la masse M. La notation  $\underline{V}_S(j\omega)$  désigne l'amplitude complexe de cette même tension, en régime sinusoïdal, à la pulsation  $\omega$ .

**Structure de l'énoncé** Le sujet comporte des mesures à réaliser (questions notées **Mx**) et l'analyse des résultats obtenus (questions notées **Qx**). Les parties 1, 2, 4 et 6 sont indépendantes et peuvent être traitées dans un ordre différent.

## Sommaire

<b>1 Étude expérimentale du circuit 2</b>	<b>2</b>
<b>2 Étude expérimentale du circuit 1</b>	<b>5</b>
<b>3 Association des circuits 1 et 2</b>	<b>6</b>
<b>4 Modélisation du circuit 2</b>	<b>6</b>
<b>5 Circuit 3</b>	<b>8</b>
<b>6 Analyse de la fonction des circuits 1,2 et 3 associés</b>	<b>10</b>
6.1 Étude expérimentale . . . . .	10
6.2 Éléments d'analyse des mesures . . . . .	12
<b>7 Circuit 4</b>	<b>12</b>
<b>8 Synthèse</b>	<b>13</b>
<b>Annexe : schéma électrique complet</b>	<b>14</b>

# 1 Étude expérimentale du circuit 2

Le schéma du circuit 2 est donné figure 1. L'entrée de ce circuit est notée  $V_D(t)$  et la sortie  $V_G(t)$ .

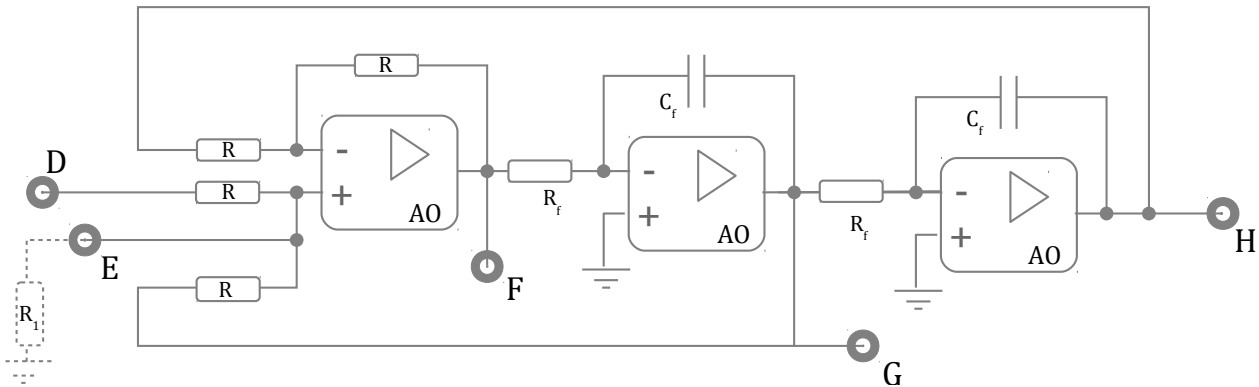
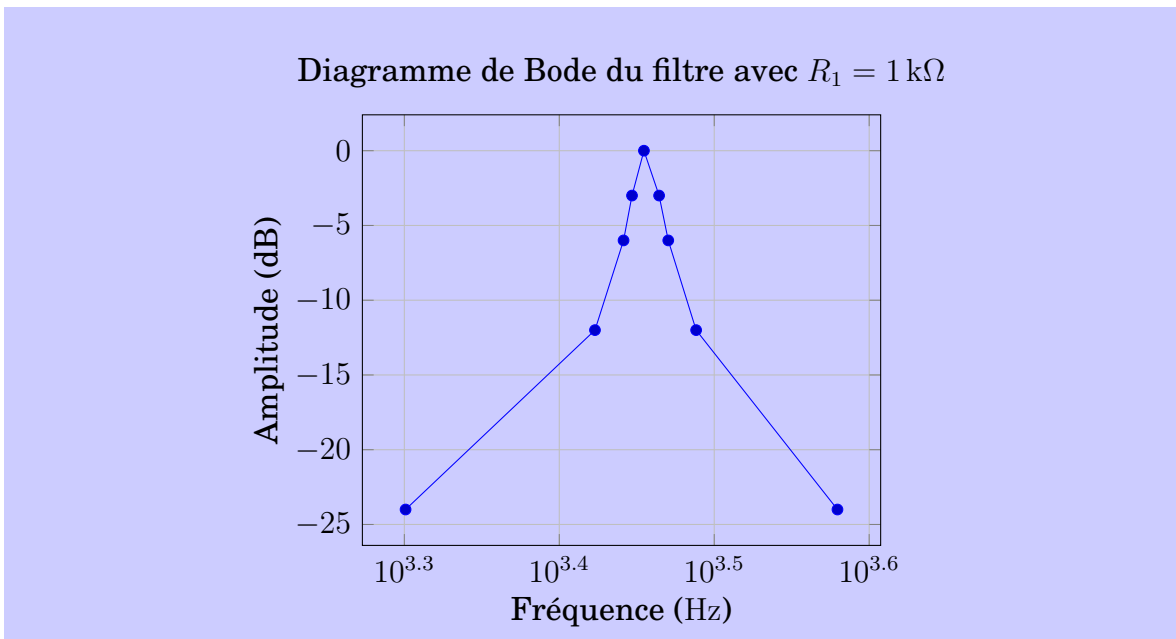


FIGURE 1 – Circuit 2. La borne D est l'entrée du circuit, la borne G est la sortie. La résistance  $R_1$  n'est pas présente à l'intérieur du boîtier.

**M1** Connectez une résistance  $R_1 = 1\text{ k}\Omega$  entre la borne E et la masse du circuit et relevez le diagramme de Bode en amplitude de la réponse en fréquence :

$$G(j\omega) = \frac{V_G(j\omega)}{V_D(j\omega)}$$

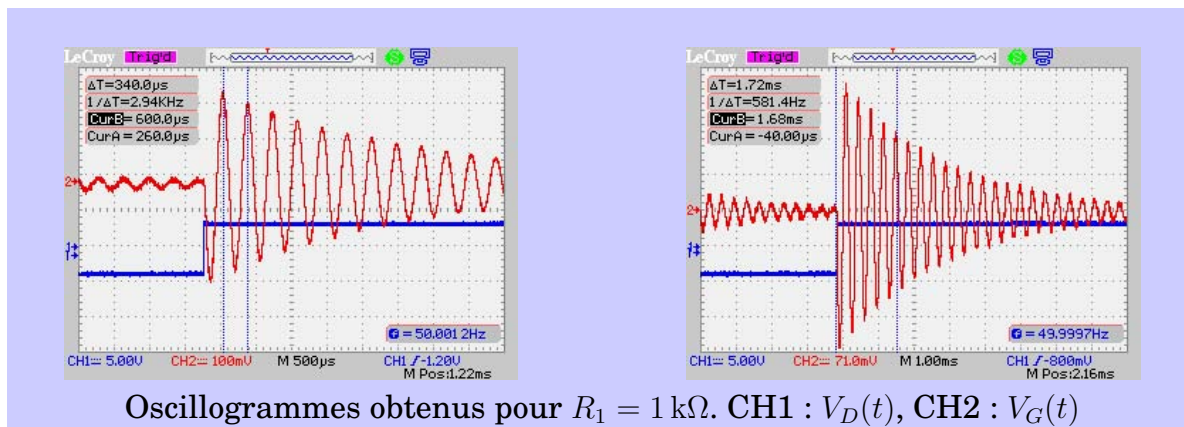
On tracera la courbe de l'amplitude de la réponse en fréquence exprimée en dB en fonction de la fréquence présentée sur une échelle logarithmique, du papier semi-logarithmique est à votre disposition.



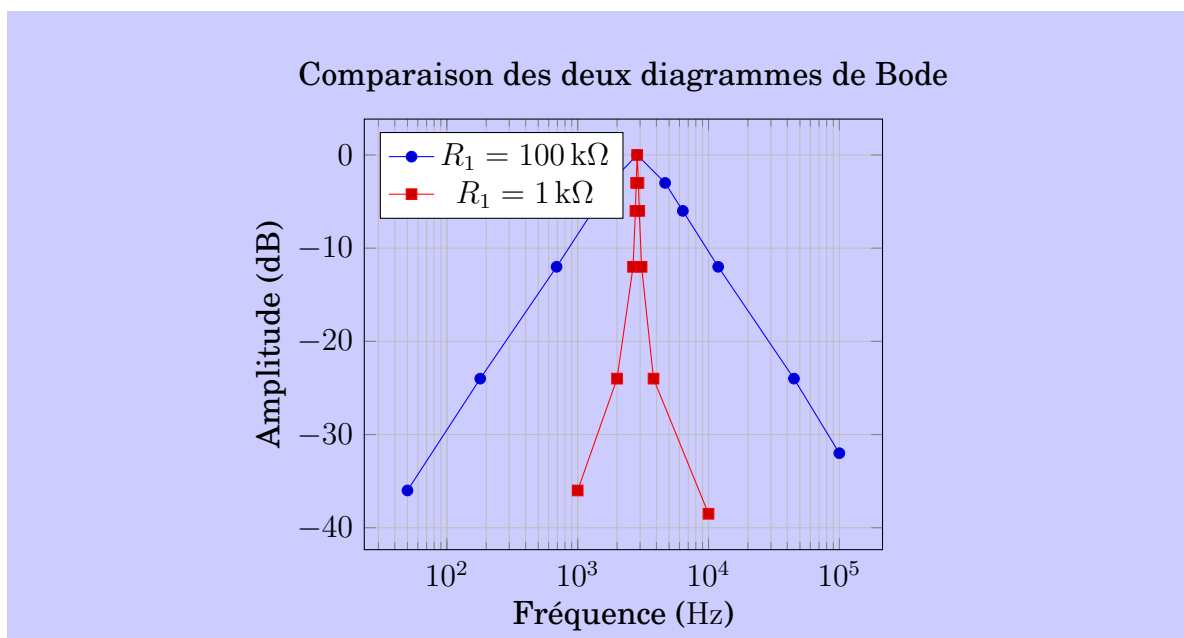
**Q2** D'après vos mesures quelle est la fonction réalisée par ce circuit?

**M3** Mesurez précisément la valeur de sa bande passante à  $-3$  dB ainsi que le déphasage apporté par ce circuit pour la fréquence correspondant au gain maximal.

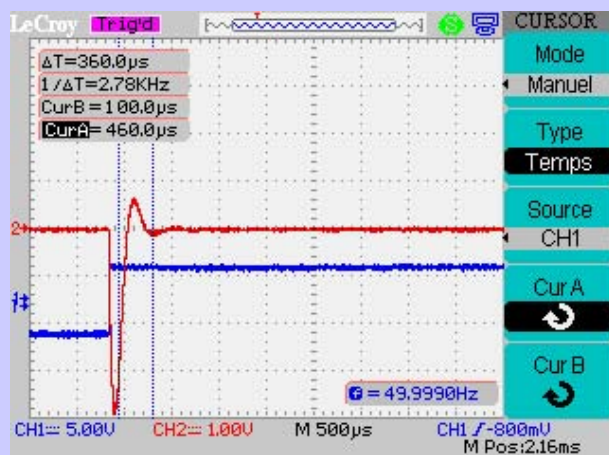
**M4** Placez un signal  $V_D(t)$  rectangulaire de basse fréquence ( $< 100$  Hz) en entrée du circuit et tracez l'allure du signal  $V_G(t)$  obtenu. Mesurez les grandeurs temporelles caractéristiques de ce signal : périodes, durées, ...



**M5** Relevez le diagramme de Bode en amplitude de la réponse en fréquence  $G(j\omega)$  pour une résistance  $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$ .



**M6** Placez un signal  $V_D(t)$  rectangulaire de basse fréquence en entrée du circuit et tracez l'allure du signal  $V_G(t)$  obtenu. Mesurez les grandeurs temporelles caractéristiques de ce signal : périodes, durées, ...



Oscillogramme obtenu pour  $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$ . CH1 :  $V_D(t)$ , CH2 :  $V_G(t)$

**Q7** Dédurre de vos mesures l'influence de la valeur de la résistance  $R_1$  sur le comportement du circuit.

## 2 Étude expérimentale du circuit 1

Le schéma électrique du circuit 1 n'est pas donné. Il comporte deux tensions d'entrées, notées  $V_A(t)$  et  $V_B(t)$  et fournit une tension de sortie  $V_C(t)$ . Ce circuit est schématisé sur la figure 2.

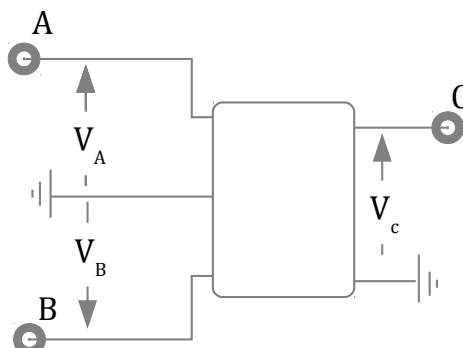
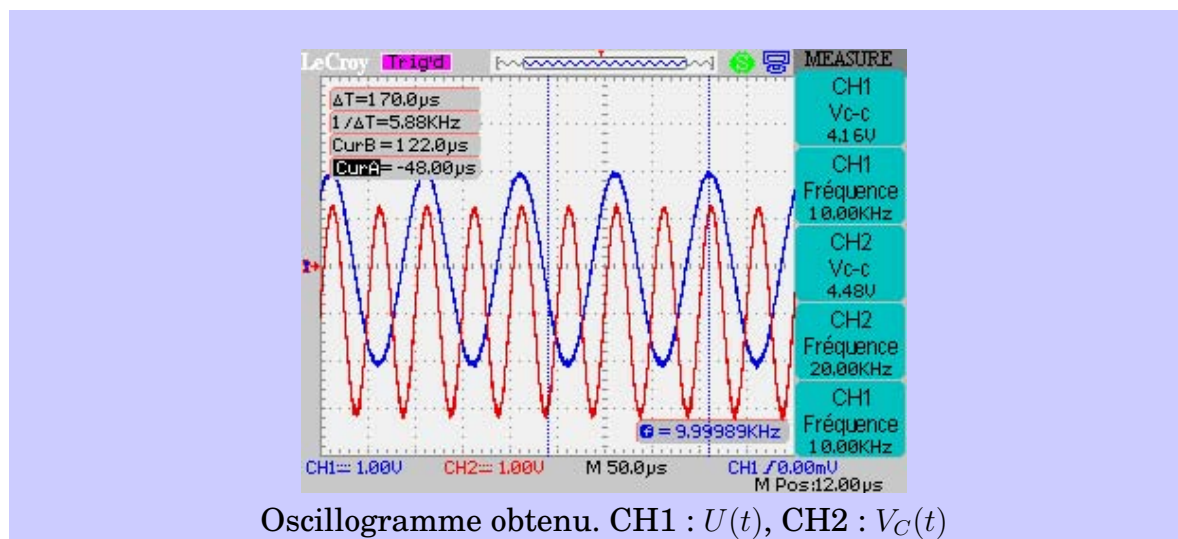


FIGURE 2 – Circuit 1. Entrées en A et en B. Sortie en C

**M8** Connectez une tension sinusoïdale et d'offset nul  $U(t)$  identique sur les deux entrées A et B du circuit 1, c'est à dire  $V_A(t) = V_B(t) = U(t)$ . La fréquence de ce signal sera choisie égale à environ 1 kHz. Affichez sur l'oscilloscope l'évolution temporelle du signal de sortie  $V_C(t)$  et tracez l'allure du signal observé.

**M9** Mesurer les caractéristiques du signal  $V_C(t)$  : fréquence, amplitude, ...



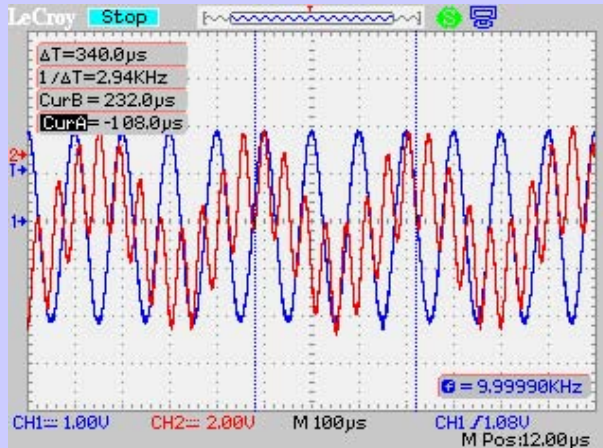
Oscillogramme obtenu. CH1 :  $U(t)$ , CH2 :  $V_C(t)$

**Q10** La relation entre  $U(t)$  et  $V_C(t)$  est-elle une relation linéaire ?

**M11** Connectez deux signaux différents mais d'amplitudes égales sur chacune des deux entrées :

- $V_A(t)$  : sinusoïde de fréquence égale à 13 kHz, d'offset nul,
- $V_B(t)$  : sinusoïde de fréquence égale à 10 kHz, d'offset nul,

et mesurez les caractéristiques du signal  $V_C(t)$  : fréquence(s), amplitude(s), ...



Oscillogramme obtenu. CH1 :  $V_B(t)$ , CH2 :  $V_C(t)$

**Q12** Quelle est, d'après les mesures précédentes, la fonction réalisée par ce circuit ?

**Q13** Montrer que l'expression donnant  $V_C(t)$  en fonction de  $V_A(t)$  et  $V_B(t)$  peut s'écrire sous la forme :

$$V_C(t) = \alpha \cdot (V_A(t) \odot V_B(t)) - \beta$$

où  $\odot$  est un opérateur à expliciter. Déterminer la valeur et l'unité des paramètres  $\alpha$  et  $\beta$  en réalisant si besoin des mesures annexes que vous expliquerez.

**Q14** Que proposeriez-vous pour déterminer expérimentalement la bande passante de ce circuit ?

### 3 Association des circuits 1 et 2

**M15** Connectez les circuits 1 et 2, en effectuant la liaison entre les bornes C et D. La résistance du circuit 2 sera réglée selon  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ . Connectez à nouveau deux signaux différents sur chacune des deux entrées du circuit 1 :

- $V_A(t)$  : sinusoïde de fréquence égale à  $f_A = 13 \text{ kHz}$ , d'offset nul, d'amplitude  $4 V_{\text{crête à crête}}$
- $V_B(t)$  : sinusoïde de fréquence égale à  $f_B = 10 \text{ kHz}$ , d'offset nul, d'amplitude  $4 V_{\text{crête à crête}}$

et mesurez les caractéristiques du signal  $V_G(t)$  : fréquence(s), amplitude(s), ...

**Q16** Quelle relation entre les valeurs des fréquences  $f_A$  et  $f_B$  permettrait d'obtenir une la tension  $V_G(t)$  d'amplitude maximale ? Quelle serait alors la fréquence de la tension  $V_G(t)$  ?

**M17** Vérifiez expérimentalement, en modifiant les valeurs de  $f_A$  et  $f_B$  selon la relation déterminée à la question précédente, que l'amplitude de la tension  $V_G(t)$  est maximisée. Donnez les valeurs des différentes fréquences et amplitudes mesurées.

### 4 Modélisation du circuit 2

On suppose dans tout ce paragraphe que les éléments amplificateurs (AO) présents dans les différents circuits permettent d'assurer que les tensions sur les bornes + et -

sont identiques et que les courants entrant par leurs bornes d'entrée sont nuls :

$$V_+ = V_- \quad i_+ = i_- = 0$$

On décompose le circuit 2 en trois parties. On considère dans un premier temps le sous-circuit 2.1 de la figure 3, puis le sous-circuit 2.2 de la figure 4 avant d'établir une expression de la fonction de transfert de l'ensemble.

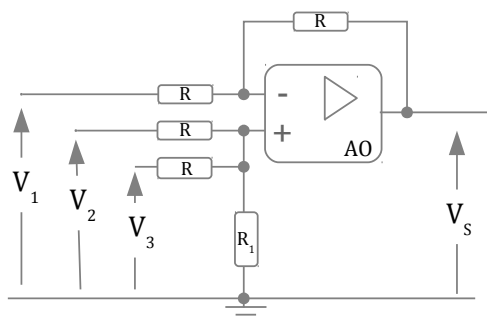


FIGURE 3 – Circuit 2.1.

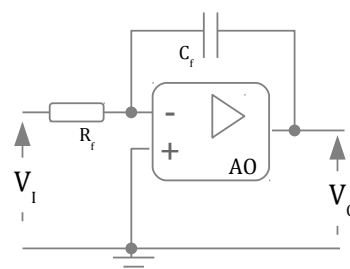


FIGURE 4 – Circuit 2.2.

**Q18** Montrez que l'expression liant les tensions d'entrée  $V_1(t)$ ,  $V_2(t)$ ,  $V_3(t)$  et la tension de sortie  $V_s(t)$  peut s'écrire sous la forme :

$$V_s = -a \cdot V_1 + b \cdot V_2 + c \cdot V_3$$

où  $a$ ,  $b$  et  $c$  sont trois paramètres à déterminer.

**Q19** Calculer l'expression de la réponse en fréquence  $\frac{V_O(j\omega)}{V_I(j\omega)}$  du sous-circuit 2.2 (figure 4).

**Q20** Sous quelle(s) condition(s) peut-on déduire des résultats précédents l'expression de la réponse en fréquence  $G(j\omega) = \frac{V_G(j\omega)}{V_D(j\omega)}$  du circuit 2 (figure 1).

**Q21** On suppose que cette ou ces condition(s) est (sont) vérifiée(s). Montrer que la réponse en fréquence  $G(j\omega)$  peut s'écrire sous la forme :

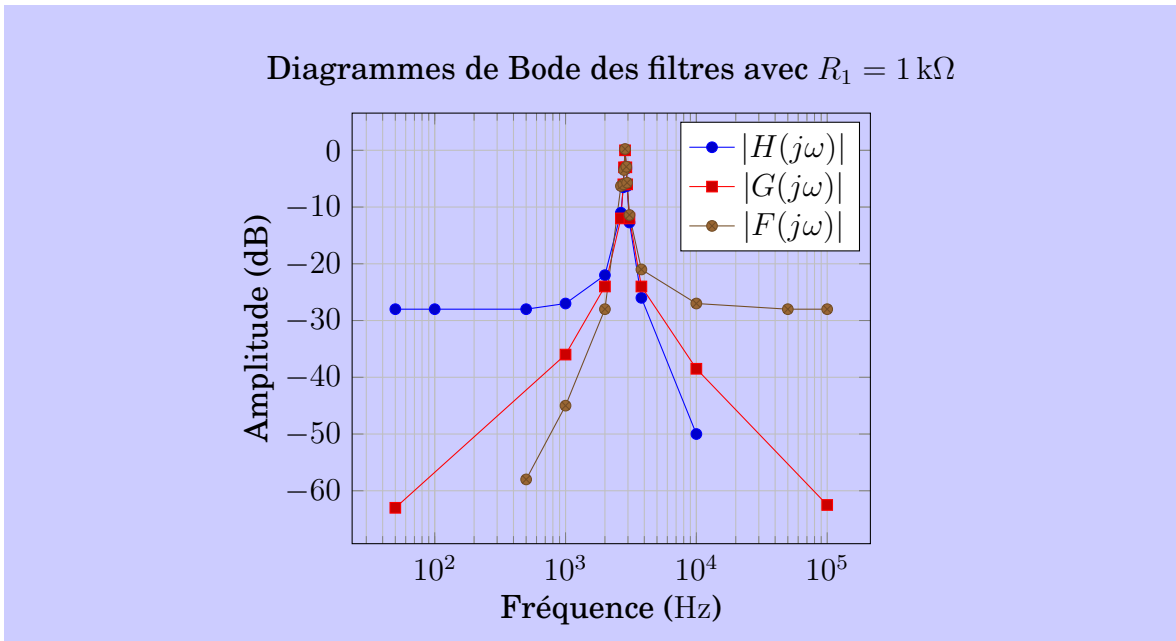
$$G(j\omega) = -G_0 \cdot \frac{j \frac{\omega}{\omega_0}}{1 + j \frac{1}{Q} \frac{\omega}{\omega_0} - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}$$

et donner l'expression des paramètres  $G_0$ ,  $\omega_0$  et  $Q$ .

**Q22** Les condensateurs du circuit 2 ont une capacité  $C_f = 1 \text{ nF}$ . Déterminez, à partir des mesures réalisées au paragraphe précédent, la valeur des résistances  $R_f$ .

**Q23** On suppose que la ou les condition(s) établie(s) à la question **Q20** est (sont) vérifiée(s). Donnez l'expression des réponses en fréquences  $H(j\omega) = \frac{V_H}{V_D}(j\omega)$  et  $F(j\omega) = \frac{V_F}{V_D}(j\omega)$ .

**M24** Cette question est à traiter en fin d'épreuve s'il vous reste du temps. Tracez le diagramme de Bode en amplitude expérimental de ces deux fonctions de transfert sur le même graphique que celui que vous avez utilisé pour tracer la courbe en amplitude de  $G(j\omega)$  pour une résistance  $R_1 = 1\text{ k}\Omega$ .



## 5 Circuit 3

On considère le circuit 3.1 de la figure 5.

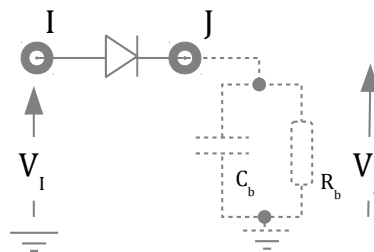


FIGURE 5 – Circuit 3.1. Ni le condensateur  $C_b$ , ni la résistance  $R_b$  ne sont présents à l'intérieur du boîtier.

On donne sur la figure 6 la caractéristique de la diode connectée entre les bornes I et J :

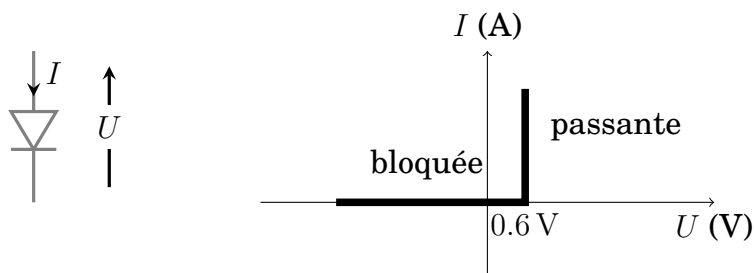
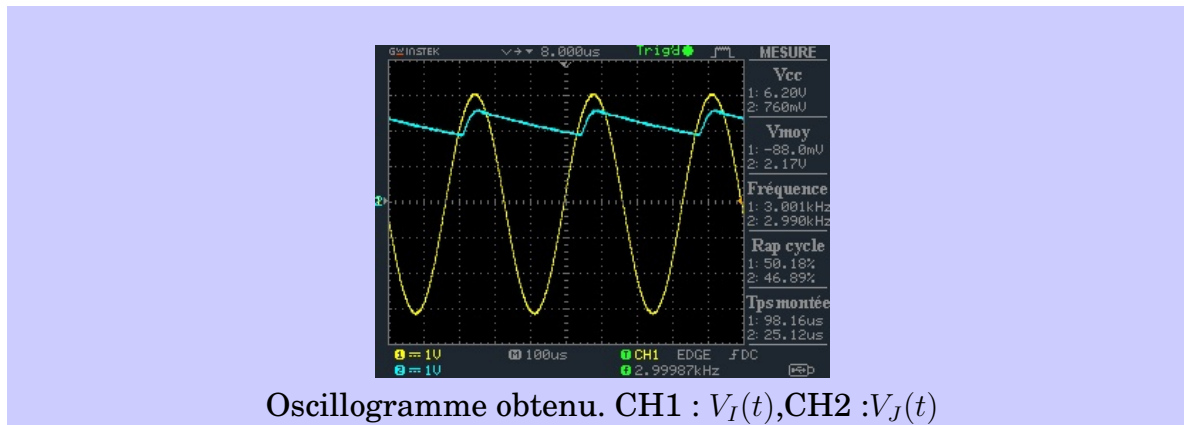


FIGURE 6 – Caractéristique électrique de la diode



Le comportement de cette diode peut donc être idéalisée en admettant que la tension à ses bornes repérée sur la figure 6, est égale à 0,6 V lorsque la diode est passante, et que son courant est nul lorsque la diode est bloquée ( $U < 0,6 \text{ V}$ ).

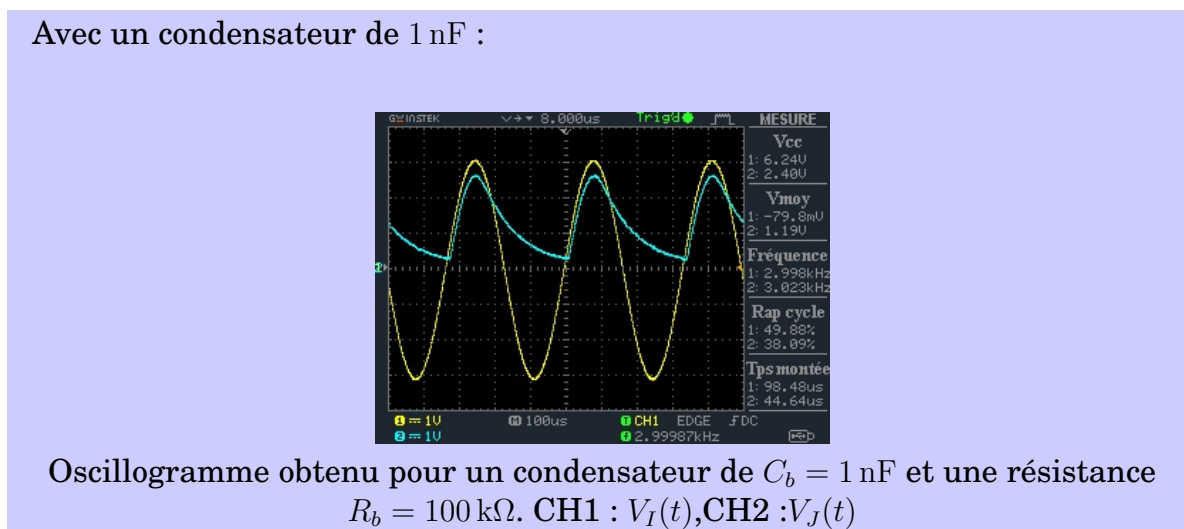
**M25** Réalisez le circuit 3.1 en connectant une résistance  $R_b = 100 \text{ k}\Omega$  et un condensateur  $C_b = 10 \text{ nF}$  entre la borne  $\mathcal{J}$  et la masse du circuit. Placez une tension sinusoïdale en entrée, d'une fréquence environ égale à 3 kHz. Affichez sur l'écran de l'oscilloscope à la fois l'évolution de la tension  $V_I(t)$  et celle de la tension  $V_J(t)$ . Tracez en particulier l'allure de ces signaux pour une amplitude du signal d'entrée de l'ordre du Volt.



**Q26** Faire apparaître sur le graphique précédent les périodes pendant lesquelles la diode est passante et celles pendant lesquelles elle est bloquée. Expliquez le fonctionnement du circuit et sa fonction.

**Q27** Expliquez en particulier le rôle des valeurs choisies de  $R_b$  et  $C_b$ . Illustrez vos explications par des relevés de mesures supplémentaires, on pourra en particulier faire varier la valeur de la résistance  $R_b$  et/ou du condensateur  $C_b$ .

Avec un condensateur de 1 nF :



On considère maintenant le circuit 3.2 de la figure 7.

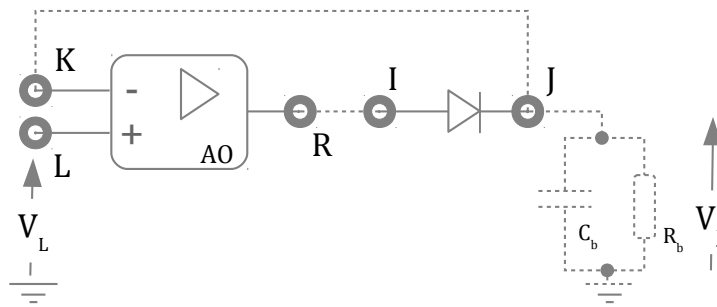
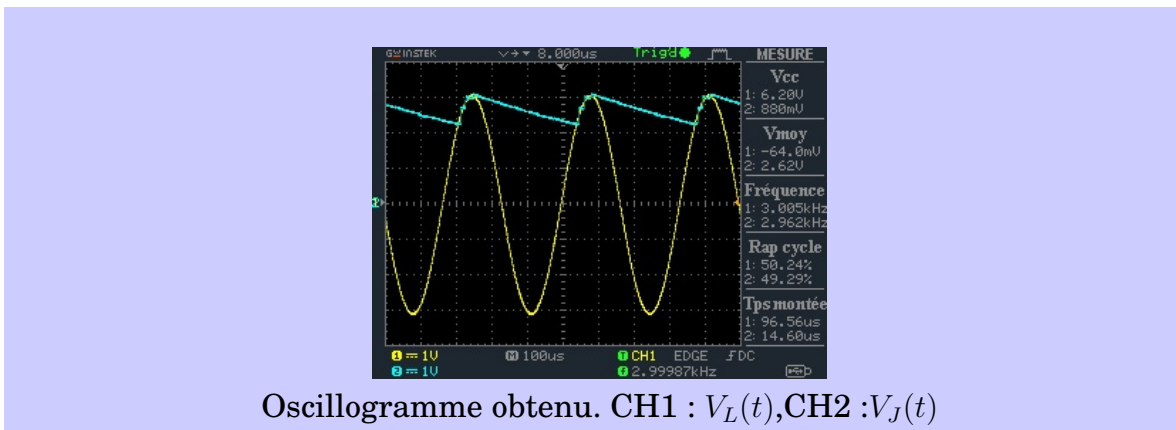


FIGURE 7 – Circuit 3.2. Ni le condensateur  $C_b$ , ni la résistance  $R_b$  ne sont présents à l'intérieur du boîtier. Les connexions figurant en pointillés sont à réaliser en externe.

**M28** Réalisez le circuit 3.2 en conservant une résistance  $R_b = 100\text{ k}\Omega$  et un condensateur  $C_b = 10\text{ nF}$  entre la borne  $J$  et la masse du circuit. Placez une tension sinusoïdale en entrée, d'une fréquence environ égale à  $3\text{ kHz}$ . Affichez sur l'écran de l'oscilloscope à la fois l'évolution de la tension  $V_L(t)$  et celle de la tension  $V_J(t)$ . Tracez en particulier l'allure de ces signaux pour une amplitude du signal d'entrée de l'ordre du Volt.



**Q29** Décrivez la modification et les ressemblances de l'allure des signaux obtenus aux questions **M25** et **M28**.

## 6 Analyse de la fonction des circuits 1,2 et 3 associés

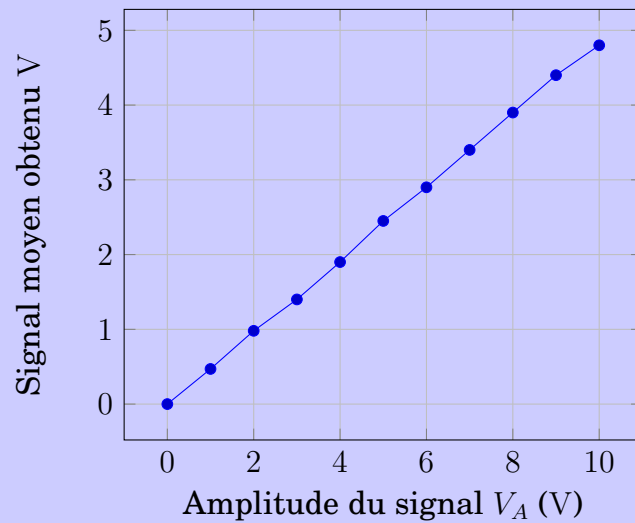
### 6.1 Étude expérimentale

**M30** Connectez le circuit 1 au circuit 2 en réalisant la liaison entre les bornes C et D. Connectez les circuits 2 (avec  $R_1 = 2\text{ k}\Omega$ ) et 3.2 en réalisant la liaison entre la borne G et la borne L du circuit. Connectez deux signaux différents sur chacune des deux entrées du circuit 1 :

- $V_A(t)$  : sinusoïde de fréquence égale à  $f_A = 500\text{ Hz}$ , d'amplitude  $10\text{ V}_{\text{crête à crête}}$ ,
- $V_B(t)$  : sinusoïde de fréquence environ égale à  $f_B = 2,5\text{ kHz}$ , d'amplitude  $4\text{ V}_{\text{crête à crête}}$ .

Réglez précisément la valeur de la fréquence  $f_B = f_{B0}$  qui permet d'obtenir un signal  $V_J$  maximal en sortie. Mesurez à l'aide du multimètre la valeur moyenne du signal  $V_J$  obtenu pour des amplitudes du signal d'entrée  $V_A$  variant de 0 à  $10\text{ V}_{\text{crête à crête}}$ .

Évolution du signal de sortie en fonction de l'amplitude du signal  $V_A$

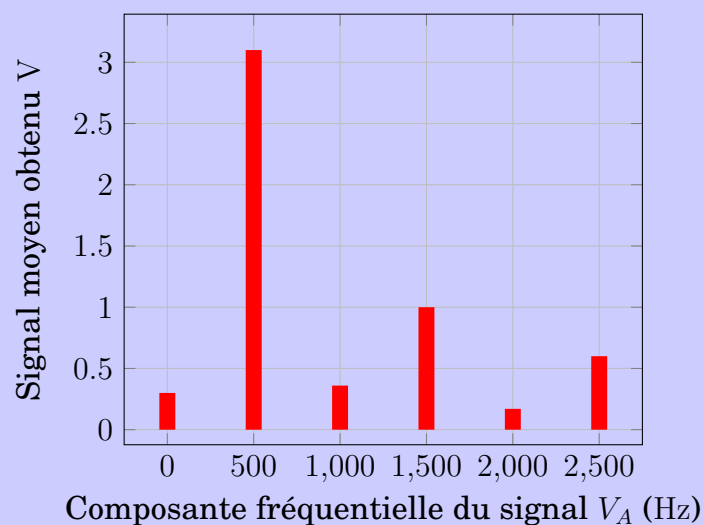


**Q31** A partir des données sur l'instrument de mesure, précisez l'incertitude de la mesure de la tension moyenne.

**M32** Modifiez le signal  $V_A(t)$  pour signal carré de fréquence  $f_A = 500$  Hz et d'amplitude  $5 V_{\text{crête à crête}}$ . Mesurez la valeur moyenne du signal  $V_J$  pour une fréquence  $f_B = f_{B0} - k f_A$  avec  $k \in \{0, 1, 2, 3, 4, 5\}$ .

Pour un signal carré

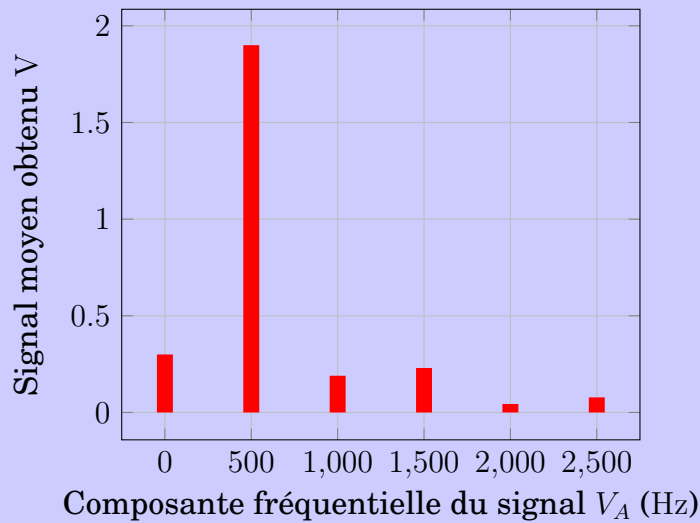
Évolution du signal de sortie en fonction de l'amplitude du signal  $V_A$



**M33** Refaire les mesures pour un signal  $V_A(t)$  triangulaire de fréquence  $f_A = 500$  Hz.

Pour un signal triangulaire

Évolution du signal de sortie en fonction de l'amplitude du signal  $V_A$



## 6.2 Éléments d'analyse des mesures

On peut montrer que certaines fonctions  $f(t)$  périodiques de période  $T$  peuvent s'écrire sous la forme d'une série de fonctions harmoniques :

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{+\infty} a_n \cos\left(\frac{2\pi n t}{T} + \phi_n\right)$$

La suite des termes  $a_0, a_1, a_2, \dots$  est appelée décomposition en série de Fourier de la fonction  $f(t)$ .

**Q34** Expliquez en quoi le montage constitué des circuits 1, 2 et 3.2 permet d'obtenir une mesure de la décomposition en série de Fourier de la loi d'évolution du signal  $V_A(t)$

**Q35** A partir des mesures précédentes, comparez les décompositions en série de Fourier respectives d'un signal rectangulaire et triangulaire.

## 7 Circuit 4

On considère le circuit 4, dont le schéma est donné sur la figure 8.

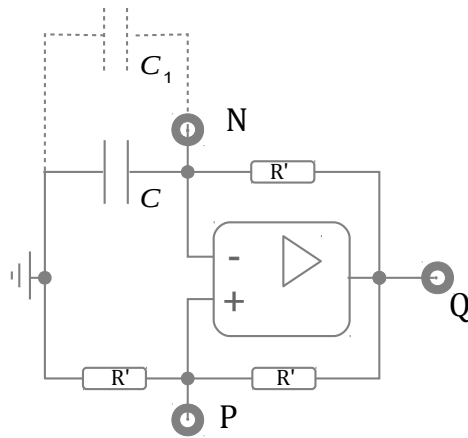


FIGURE 8 – Circuit 4. Les valeurs des résistances sont toutes identiques :  $R' = 10 \text{ k}\Omega$ . Le condensateur  $C_1$  n'est pas présent à l'intérieur du boîtier

**M36** Dans un premier temps, ne rien connecter aux bornes de ce circuit. On considère donc le circuit sans la présence du condensateur  $C_1$ . Observez l'évolution des tensions  $V_P(t)$  et  $V_Q(t)$  à l'oscilloscope. Observez ensuite l'évolution des tensions  $V_P(t)$  et  $V_N(t)$ . Tracez ces courbes d'évolution. Mesurez la période et l'amplitude de chacun de ces signaux.

**M37** Placez entre la borne N et la masse du circuit un condensateur externe de capacité  $C_1$ . Tracer la courbe d'évolution de la période du signal  $V_Q$  en fonction de la valeur  $C_1$  de cette capacité pour des valeurs variant entre 0 et 100 nF.

## 8 Synthèse

**M38** Sans condensateur  $C_1$  externe, placez le signal  $V_P(t)$  en entrée du montage complet construit au paragraphe 6. Réglez le signal  $V_B(t)$  : sinusoïde d'amplitude  $4 V_{\text{crête à crête}}$ . Choisir la fréquence  $f_B = f_{B1}$  du signal de façon à obtenir une tension  $V_J$  de valeur moyenne maximale.

**M39** Proposer et mettre en œuvre un protocole de mesure des coefficients de la décomposition en série de Fourier du signal  $V_P(t)$ . Mesurez ensuite l'amplitude des coefficients de la décomposition en série de Fourier du signal  $V_N(t)$ .

**Q40** Peut-on dire que le signal  $V_N(t)$  est un signal triangulaire ?

# Annexe : schéma électrique des circuits présents dans le boîtier

