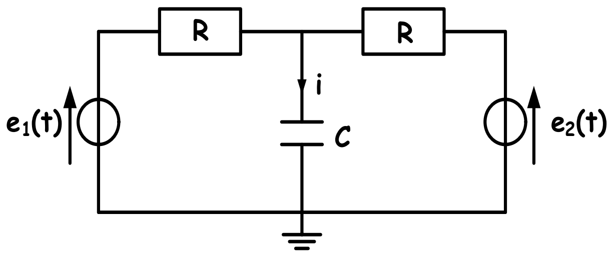
TRAVAUX DIRIGÉS N°5 DE SIGNAUX PHYSIQUES

Exercice 1 : Circuit à deux sources

Dans le circuit électrique représenté ci-après, les générateurs ont pour f.é.m. respectives :
$e_1(t) = 2E\sqrt{2}\cos(\omega t)$; $e_2(t) = E\sqrt{2}\sin(2\omega t)$



Par application du théorème de superposition, déterminer l'intensité $i(t)$ dans le condensateur de capacité C. On utilisera la notation complexe.

Exercice 2 : Filtre passe-haut du 1er ordre

On donne la fonction de transfert harmonique d'un filtre passe-haut du 1er ordre et le diagramme de Bode associé

$$\underline{H}(j\omega) = \frac{\frac{1}{3} \times j\frac{\omega}{\omega_c}}{1 + j\frac{\omega}{\omega_c}}$$

.

Diagramme de Bode en gain

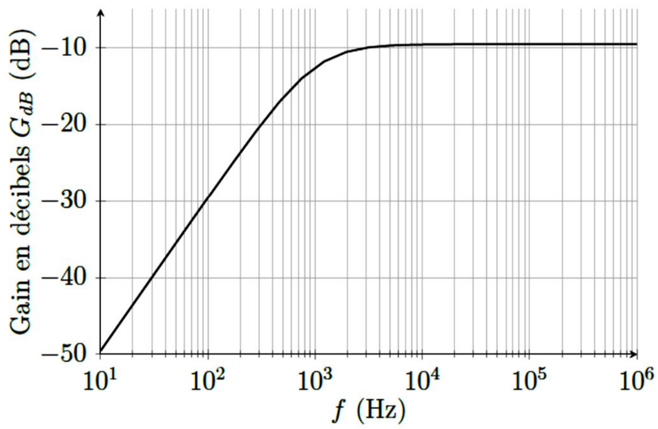
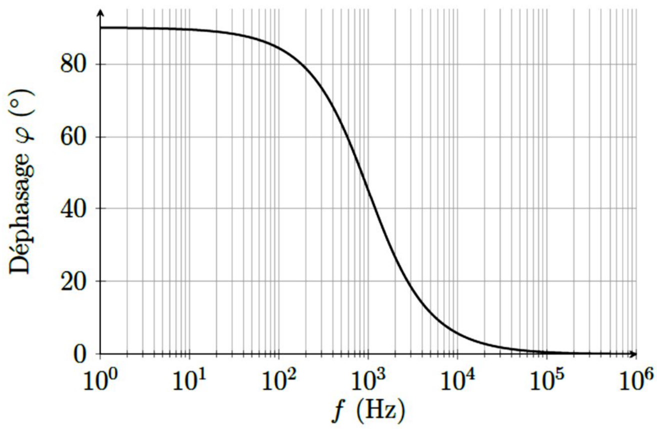


Diagramme de Bode en phase

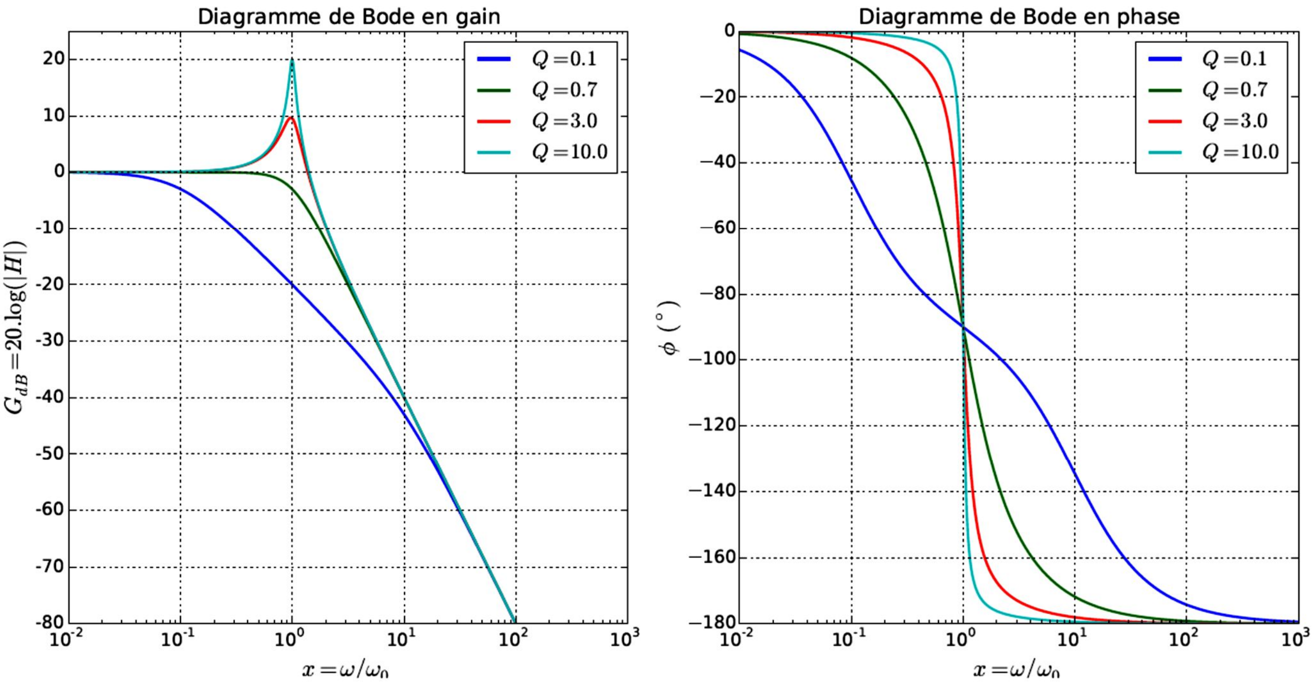


1. Déterminer graphiquement les asymptotes.
2. Déterminer l'approximation de la fonction de transfert à basse fréquence et en déduire les équations des asymptotes à basse fréquence. Comparer au diagramme de Bode fourni.
3. Déterminer l'approximation de la fonction de transfert à haute fréquence et en déduire les équations des asymptotes à haute fréquence. Comparer au diagramme de Bode fourni.

Exercice 3 : Filtre passe-bas du 2ème ordre

On donne la fonction de transfert harmonique d'un filtre passe-bas du 1er ordre et le diagramme de Bode associé pour différentes valeurs de Q

$$\underline{H}(j\omega) = \frac{1}{1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2} + j\frac{\omega}{Q\omega_0}}$$

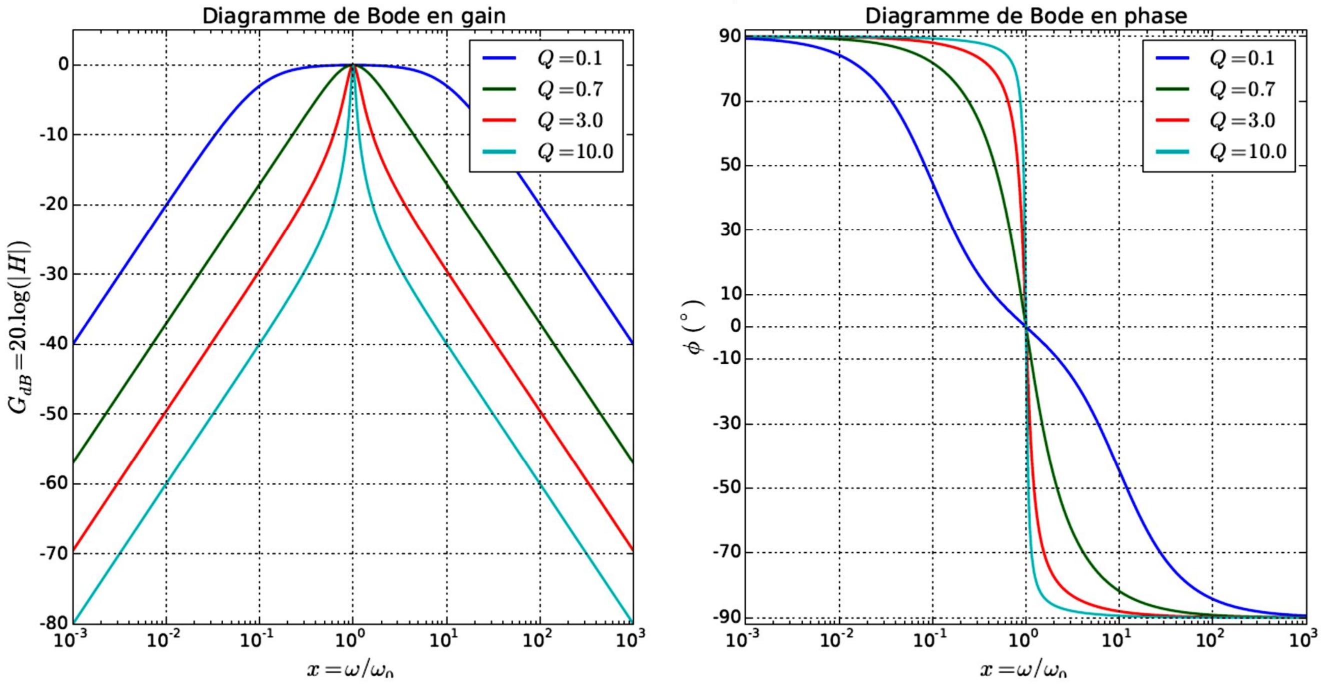


1. Déterminer graphiquement les asymptotes. Dépendent-elles du facteur de qualité ?
2. Déterminer l'approximation de la fonction de transfert à basse fréquence et en déduire les équations des asymptotes à basse fréquence. Comparer au diagramme de Bode fourni.
3. Déterminer l'approximation de la fonction de transfert à haute fréquence et en déduire les équations des asymptotes à haute fréquence. Comparer au diagramme de Bode fourni.

<u>Exercice 4</u> : Filtre passe-bande

On donne la fonction de transfert harmonique d'un filtre passe-bas du 1er ordre et le diagramme de Bode associé pour différentes valeurs de Q

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

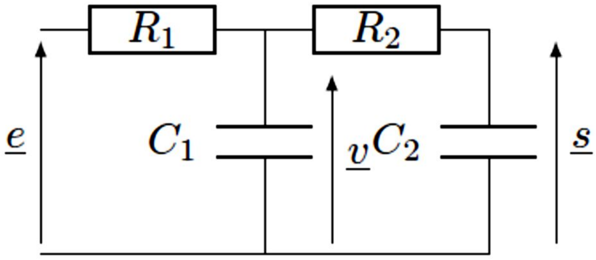


1. Déterminer graphiquement les asymptotes. Dépendent-elles du facteur de qualité ?
2. Déterminer l'approximation de la fonction de transfert à basse fréquence et en déduire les équations des asymptotes à basse fréquence. Comparer au diagramme de Bode fourni.

3. Déterminer l'approximation de la fonction de transfert à haute fréquence et en déduire les équations des asymptotes à haute fréquence. Comparer au diagramme de Bode fourni.

<u>Exercice 5</u> : Filtres du premier ordre en cascade

On considère la mise en cascade de deux passe-bas du 1er ordre, la sortie du second étant ouverte.



1. Établir l'expression de $\underline{s}$ en fonction de $\underline{v}$ (diviseur de tension).
2. Calculer l'impédance équivalente du bloc de droite. Établir l'expression de $\underline{v}$ en fonction de $\underline{e}$.
3. En déduire la fonction de transfert du filtre complet. À quelle(s) condition(s) est-elle égale au produit de celles des deux filtres ?

<u>Exercice 6</u> : Oscillateurs en électronique

Nous nous intéressons dans ce problème aux oscillateurs, systèmes électroniques au cœur de très nombreux objets qui nous entourent au quotidien : montre, voiture, radio, ordinateur, etc… Quelle que soit l'application, l'objectif d'un oscillateur est le même : générer un signal de période stable, de caractéristiques spectrales choisies, sans aucun signal d'entrée. Deux réalisations sont proposées dans ce problème : en première partie, un oscillateur quasi-sinusoïdal et en seconde partie un oscillateur à relaxation.

Les deux parties sont indépendantes et peuvent être traitées séparément.

Partie I – Réalisation d'un oscillateur quasi-sinusoïdal

Il est parfois intéressant d'avoir des systèmes électroniques instables, notamment en électronique, pour pouvoir réaliser des oscillateurs. On rappelle que ce type de structure peut être réalisé en associant un amplificateur et un filtre comme présenté en figure 4.

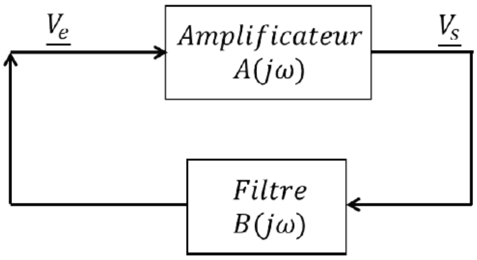


Figure 4 – Structure d'un oscillateur

Nous étudions dans cette partie l'oscillateur à filtre de Wien (**figure 5**).

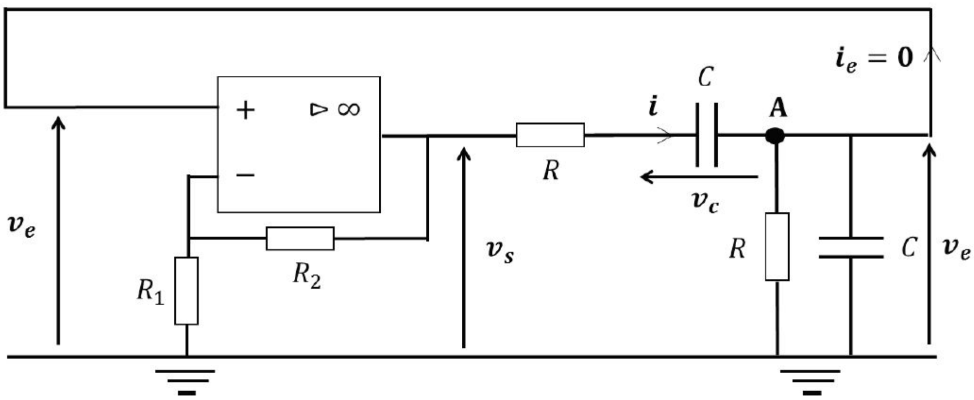


Figure 5 – Schéma électrique de l'oscillateur à filtre de Wien

I.1 – Généralités

Q50. Reproduire le schéma sur votre copie et identifier la partie amplificatrice ainsi que la partie filtre de cet oscillateur.

Q51. Justifier pourquoi le courant noté i_e sur le schéma peut être considéré comme nul dans la suite de l'étude.

I.2 – Étude du filtre de Wien

Q52. Quelle est la relation entre la dérivée de la tension v_c aux bornes du condensateur par rapport au temps et le courant i le traversant ? Cette équation sera nommée **« E1 » sur votre copie**.

Q53. Par une loi des nœuds au point A, exprimer le courant i en fonction de la tension v_e et de sa dérivée par rapport au temps. Cette équation sera nommée **« E2 » sur votre copie**.

Q54. Par une loi des mailles, exprimer la tension v_S en fonction de v_e, R, i et v_c. Cette équation sera numérotée **« E3 » sur votre copie**.

Q55. En utilisant les équations **E1** et **E2**, montrer que l'on obtient l'expression suivante en précisant l'expression de la constante de temps τ :

$$\frac{dv_s}{dt} = \tau\frac{d^2v_e}{dt^2} + 3\frac{dv_e}{dt} + \frac{v_e}{\tau}.$$

I.3 – Amplificateur

Q56. En étudiant le fonctionnement de l'amplificateur linéaire intégré présent dans le schéma de la **figure 5,** en déduire la valeur de l'amplification $A = \dfrac{v_s}{v_e}$ en fonction des résistances R_1 et R_2.

I.4 – Conditions d'oscillation

Q57. Montrer que l'on obtient l'équation différentielle suivante vérifiée par la tension v_S en fonction de τ et de l'amplification A :

$$\tau^2\frac{d^2v_s}{dt^2} + \tau\left(3 - A\right)\frac{dv_s}{dt} + v_s = 0.$$

Q58. Par analyse de cette équation, quelle condition doit-on satisfaire pour obtenir une oscillation harmonique ? Une analogie avec la mécanique peut guider votre raisonnement si nécessaire.

Q59. Quelle est alors la fréquence d'oscillation que l'on notera f_0 ?

Q60. D'où provient l'énergie nécessaire pour garantir l'oscillation ?

I.5 – Qualité du signal fourni

Nous nous intéressons à présent à la qualité du signal fourni par cet oscillateur. En **figures 6** et **7** sont présentées l'allure temporelle de la tension v_e ainsi que sa décomposition spectrale.

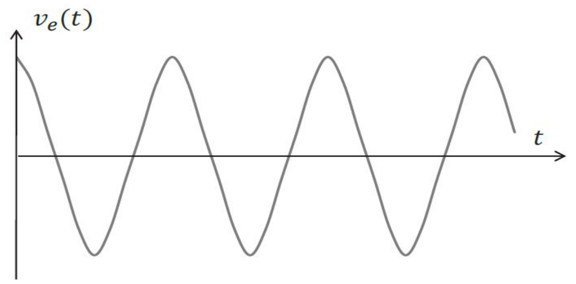


Figure 6 – Allure temporelle de la tension v_e

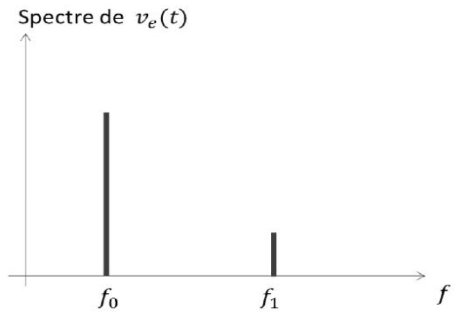


Figure 7 – Décomposition spectrale de la tension v_e

Q61. Peut-on considérer le signal fourni comme sinusoïdal ? Justifier.

Q62. On donne les fréquences $f_0 = 1kHz$ et $f_1 = 10kHz$. Comment pourrait-on améliorer la qualité de la tension v_e ? Une approche pratique est attendue en précisant les valeurs caractéristiques du dispositif mis en œuvre.

Partie II – Oscillateur à relaxation

Si l'on cherche à réaliser un signal d'horloge, il n'est pas nécessaire d'obtenir un signal sinusoïdal. On peut alors utiliser la structure de l'oscillateur à relaxation présentée en **figure 8**.

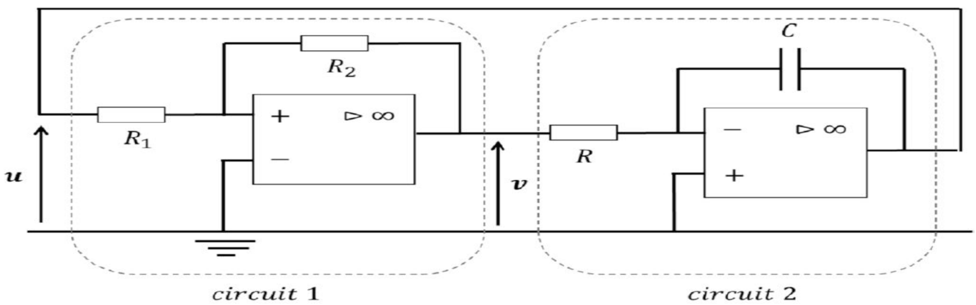


Figure 8 – Oscillateur à relaxation

On considère les amplificateurs linéaires intégrés idéaux (ALI idéaux) et on note + V_{sat} et – V_{sat} leurs tensions de saturation.
À t = 0 s, on suppose que la tension v vaut + V_{sat} et que la tension u est nulle.
Tout d'abord, nous nous intéressons au circuit 1.

Q63. Préciser, en le justifiant, le mode de fonctionnement de l'ALI idéal. Quelles sont les valeurs que peut prendre la sortie v ?

Pour quelle valeur de la tension d'entrée u , notée u_{seuil1} , la tension de sortie v bascule-t-elle de + V_{sat} à – V_{sat}?

On admet que la tension de sortie v bascule de – V_{sat} à $+V_{sat}$ pour une valeur de tension u_{seuil2} telle que $u_{seuil2} = -u_{seuil1}$

Q64. Tracer la tension v en fonction de la tension u en annotant soigneusement le tracé.

Le circuit 2 est un montage intégrateur inverseur. On admet la relation entrée-sortie suivante :

$$\frac{du}{dt} = -\frac{v}{RC}.$$

Q65. Si la tension v est constante et vaut + V_{sat}, quelle est l'allure du signal d'entrée u ?

Étudions à présent le montage complet. Les chronogrammes des tensions u et v sont donnés en figure 9.

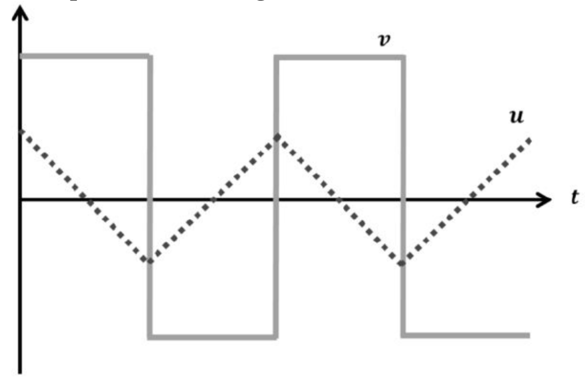


Figure 9 – Allures temporelles des signaux issus de l'oscillateur à relaxation

Q66. Exprimer la fréquence *f* de la tension u en fonction de R_1 , R_2 , R et C.

On souhaite obtenir un signal triangulaire d'amplitude V_{max} = 2 V et de fréquence *f* = 1 kHz. On alimente les ALI en $\pm 15V$, ainsi $V_{sat} = 15V$. On impose d'utiliser les résistances R et R_2 telles que $R = R_2 = 1000\Omega$.

Q67. Déterminer les valeurs de la résistance R_1 , R_2 , R et du condensateur C pour répondre au cahier des charges.

Q68. Quelle caractéristique de l'ALI peut limiter la fréquence de fonctionnement d'un tel montage ?

<u>Exercice 7</u> : Comparaison de trois filtres actifs

On ´étudie ici les trois circuits de la figure 13. Dans chaque cas, le montage est réalisé avec R = 1 k et k > 0 ; l'amplificateur opérationnel utilisé est supposé idéal.

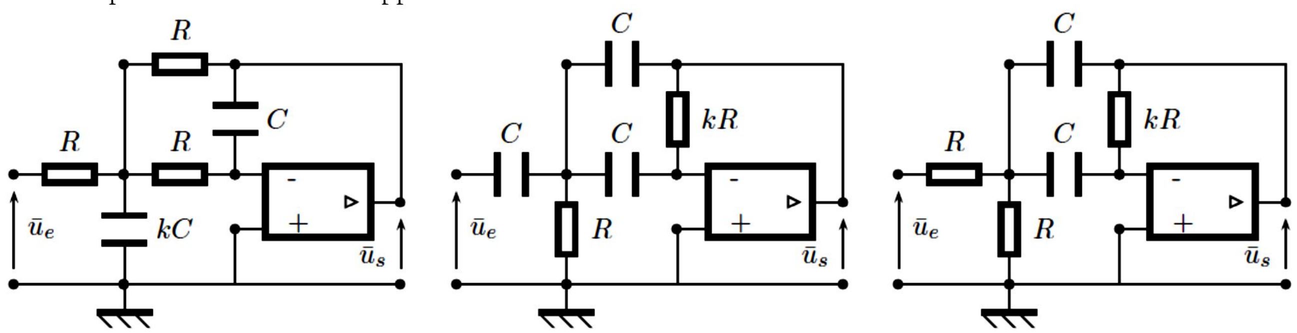


FIGURE 13 – Filtres actifs

L'étude du diagramme de Bode en gain de ces trois circuits montre qu'il s'agit respectivement (mais pas nécessairement dans l'ordre du schéma de la figure 13 !) :

— d'un filtre passe-bas du second ordre, non résonant, correspondant au régime critique d'oscillations libres, de fréquence propre f_0 = 1, 5 kHz ;

— d'un filtre passe-bande du second ordre, de fréquence de résonance f_0 = 1, 5 kHz, de facteur de qualité Q = 10 ;

— d'un filtre passe-haut du second ordre, avec pour régime transitoire associé des oscillations pseudopériodiques de fréquence f_0 = 1, 5 kHz et une constante de temps d'amortissement de la tension de sortie τ = 15ms.

1. Procédez, sans calcul, à une analyse qualitative du comportement de chacun des circuits de la figure 13 en haute et basse fréquence. En déduire dans chaque cas la nature du filtre réalisé.
2. Pour chacun des trois circuits, déterminez numériquement k et C. Tracer les diagrammes de Bode correspondants