



*Département G.M.P.*

*1<sup>ère</sup> année*

**AMPLIFICATEURS  
OPERATIONNELS**

**P. DREANO**

# **AMPLIFICATEURS**

## **OPERATIONNELS**

<b>Cours</b>	<b>3</b>
<b>Travaux Dirigés</b>	<b>11</b>

# Cours

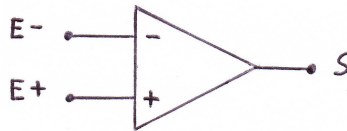
## I – Présentation générale

### I.1 – Fonctions principales

- Amplificateur (tension, courant)
- Opérateur analogique (additionneur, soustracteur, dérivateur, intégrateur)
- Opérateur logique (comparateur)
- Filtre actif (passe-bas, passe-haut, passe-bande, coupe-bande)

### I.2 – Description

Symbole d'un amplificateur :

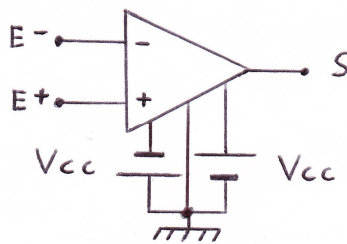


$E^-$  : borne d'entrée inverseuse

$E^+$  : borne d'entrée non inverseuse

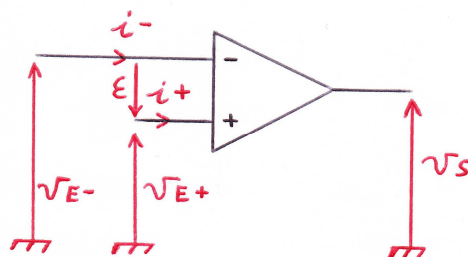
$S$  : borne de sortie

L'amplificateur possède une alimentation symétrique  $\pm 15V$  à point milieu dont le potentiel sert de masse :



Remarque : l'alimentation n'est pas représentée sur les schémas électroniques.

## II – Caractéristiques

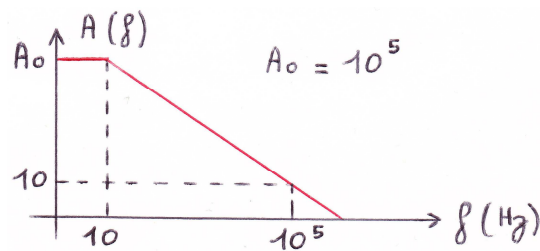


L'amplificateur est de type différentiel et possède les propriétés suivantes :

- impédance d'entrée infinie ( $Z_e \rightarrow \infty$ )
- impédance de sortie nulle ( $Z_s \rightarrow 0$ )
- courants d'entrée nuls ( $i^- \rightarrow 0, i^+ \rightarrow 0$ )
- tension d'entrée différentielle nulle en fonctionnement linéaire ( $\varepsilon \rightarrow 0$ )
- gain différentiel en boucle ouverte infini en basse fréquence :

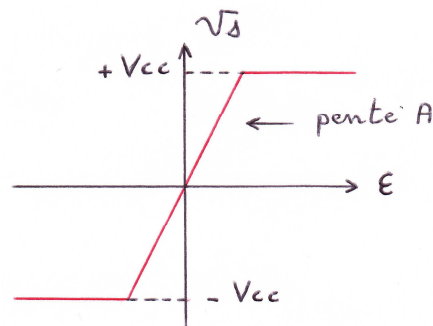
$$A_0 = \frac{V_s}{\varepsilon} \rightarrow \infty$$

Le gain  $A$  est fonction de la fréquence de la tension d'entrée  $\varepsilon$  :



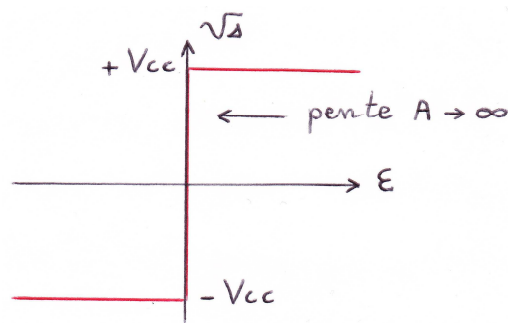
*Courbe de réponse en fréquence de l'amplificateur*

## II.1 – Caractéristique statique d'un amplificateur



La tension de sortie  $V_s$  est limitée par les tensions d'alimentation  $-V_{cc}$  et  $+V_{cc}$  ( $\pm 15V$ ).

En basses fréquences, la propriété  $A \rightarrow \infty$  permet de modéliser la caractéristique statique  $V_s(\varepsilon)$  de la façon suivante :



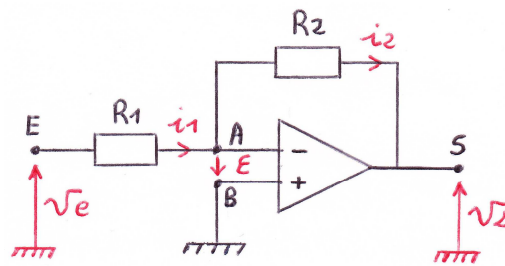
## II.2 – Amplificateur idéal

Un amplificateur est dit idéal lorsqu'on traduit les propriétés précédentes par :

$$i^- = i^+ = 0 \quad \text{et} \quad \varepsilon = 0$$

## III – Montages amplificateurs

### III.1 – Amplificateur inverseur

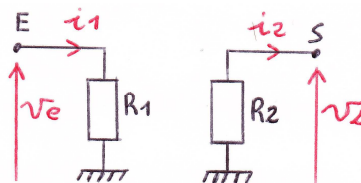


- Propriétés de l'amplificateur :

$$\begin{aligned} i^+ = 0 & \Rightarrow \text{sans objet} \\ i^- = 0 & \Rightarrow i_1 = i_2 \\ \varepsilon = 0 & \Rightarrow E^- = E^+ = 0 \end{aligned}$$

A est appelé point de masse virtuelle.

- Schéma équivalent :



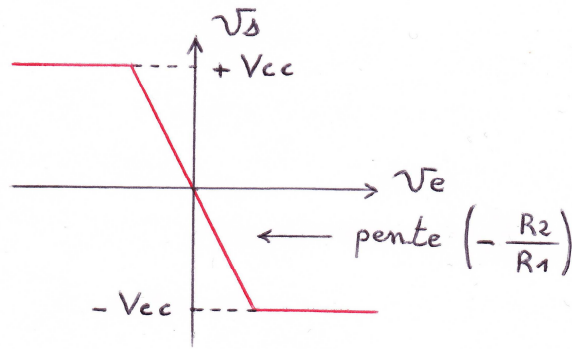
- Gain du montage :

$$\begin{aligned} V_e &= R_1 i_1 \\ V_s &= -R_2 i_2 \end{aligned} \quad \Rightarrow \quad \frac{V_e}{R_1} = -\frac{V_s}{R_2} \quad (i_1 = i_2)$$

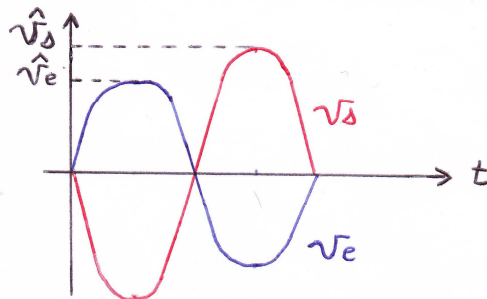
On en déduit le gain du montage :

$$G = \frac{V_s}{V_e} = -\frac{R_2}{R_1}$$

- Caractéristique statique du montage  $V_s(V_e)$  :

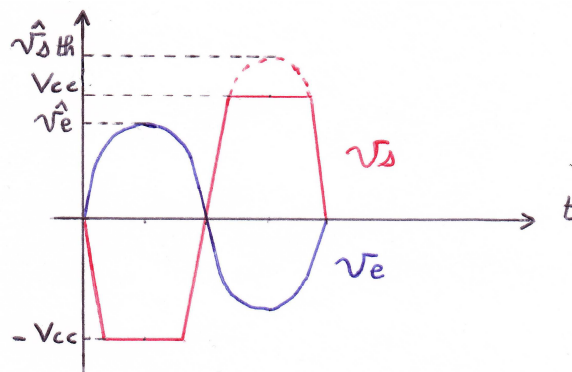


- Tension de sortie  $V_s(t)$  pour une entrée  $V_e(t)$  de type sinusoïdale :



*Fonctionnement linéaire ( $V_{smax} < V_{cc}$ )*

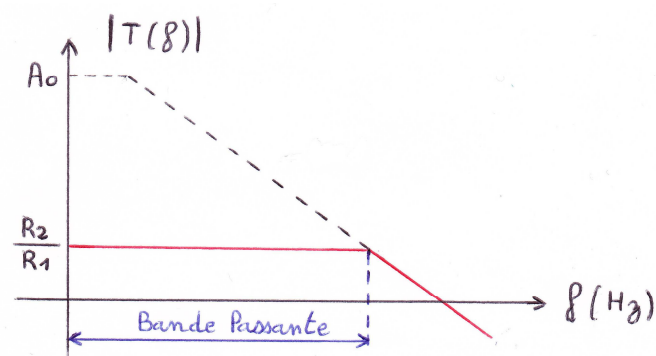
On constate un déphasage de  $180^\circ$  entre  $V_e$  et  $V_s$  qui est du à la présence du signe  $-$  dans l'équation du gain.



*Fonctionnement non linéaire ( $V_{smax\ théorique} \geq V_{cc}$ )*

L'amplitude du signal de sortie  $V_s$  est limitée par la tension d'alimentation  $V_{cc}$ .

- Réponse fréquentielle du montage :

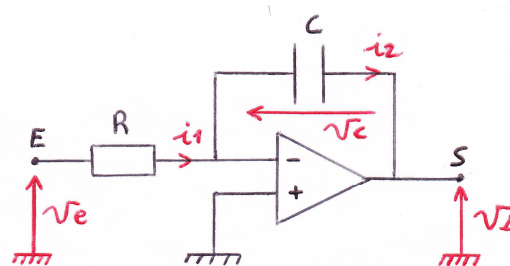


Le gain du montage associé à la réponse fréquentielle de l'amplificateur permet de déterminer la bande de fréquences (bande passante) pour laquelle le gain est préservé.

### III.2 – Amplificateur non inverseur (voir T.D.)

### III.3 – Additionneur (voir T.D.)

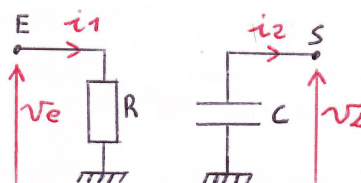
### III.4 – Intégrateur



- Propriétés de l'amplificateur :

$$\begin{array}{lll}
 i^+ = 0 & \Rightarrow & \text{sans objet} \\
 i^- = 0 & \Rightarrow & i_1 = i_2 \\
 \varepsilon = 0 & \Rightarrow & E^- = E^+ = 0
 \end{array}$$

- Schéma équivalent :



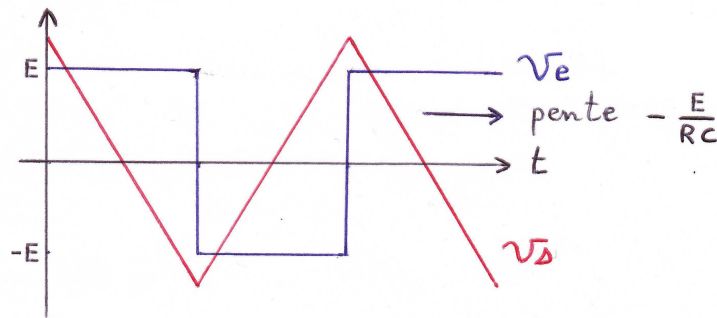
- Relation  $V_s(V_e)$  :

$$\begin{array}{ll}
 V_e = R i_1 & \\
 i_2 = -C \frac{dV_s}{dt} & \Rightarrow \quad \frac{V_e}{R} = -C \frac{dV_s}{dt} \quad (i_1 = i_2)
 \end{array}$$

On en déduit :

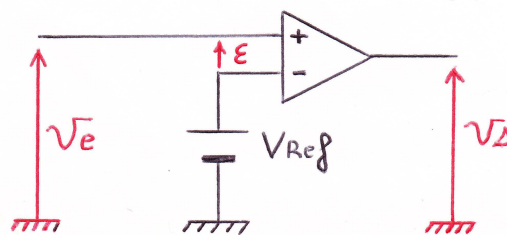
$$V_s = -\frac{1}{RC} \int V_e(t) dt$$

- Tension de sortie  $V_s(t)$  pour une entrée  $V_e(t)$  de type créneau :



### III.5 – Dérivateur (voir T.D.)

### III.6 – Comparateur



La tension  $V_e$  est appliquée sur l'entrée non inverseuse  $E^+$   $\Rightarrow V_e = E^+$

La tension  $V_{Ref}$  est appliquée sur l'entrée inverseuse  $E^-$   $\Rightarrow V_{Ref} = E^-$

La tension d'entrée différentielle  $\varepsilon$  est non nulle :

$$\varepsilon = E^+ - E^- = V_e - V_{Ref} \neq 0$$

- Relation  $V_s(V_e)$  :

$$V_s = A \varepsilon = A (V_e - V_{Ref})$$

En basses fréquences ( $A \rightarrow \infty$ ), on obtient :

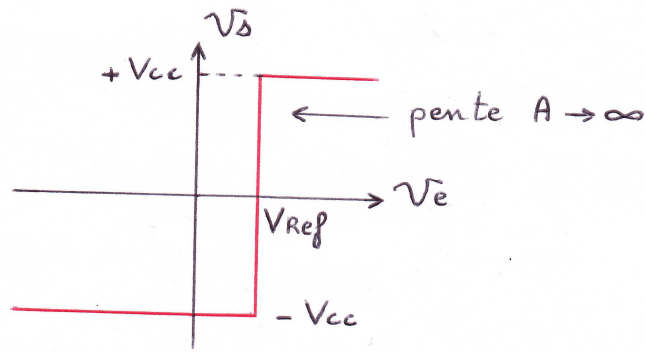
$$V_e > V_{Ref} \quad (\varepsilon > 0) \quad \Rightarrow \quad V_s = +V_{cc}$$

$$V_e < V_{Ref} \quad (\varepsilon < 0) \quad \Rightarrow \quad V_s = -V_{cc}$$

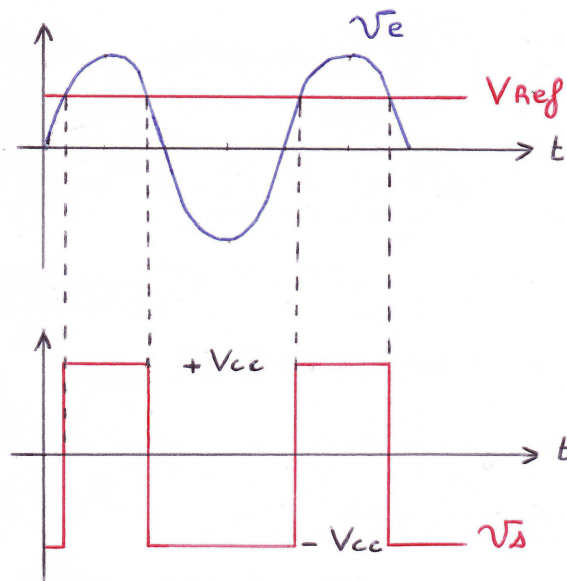
La sortie  $V_s$  ne peut prendre que 2 valeurs ( $-V_{cc}$  ou  $+V_{cc}$ ).



- Caractéristique statique :



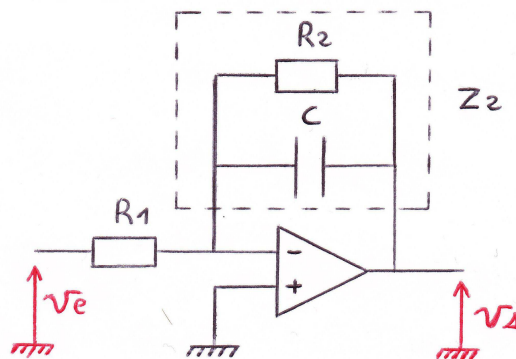
- Tension de sortie  $V_s(t)$  pour une entrée  $V_e(t)$  de type sinusoïdale :



### III.7 – Filtrés actifs

L'association d'un amplificateur et de composants R, L, C permet la réalisation de filtres avec amplification appelés filtres actifs.

Exemple : filtre actif de type passe-bas



On retrouve la structure d'un amplificateur inverseur en posant :

$$Z1 = R1$$

$$Z2 = R2 // C = \frac{R2}{1 + j R2 C \omega}$$

On en déduit l'expression de la fonction de transfert complexe du filtre actif :

$$T = \frac{Vs}{Ve} = -\frac{Z2}{Z1} = -\frac{R2}{R1} \frac{1}{1 + j R2 C \omega}$$

On caractérise un filtre actif par son coefficient d'amplification A et sa pulsation de coupure  $\omega_c$  :

$$T = A \frac{1}{1 + j \frac{\omega}{\omega_c}}$$

avec

$$A = -\frac{R2}{R1}$$

$$\omega_c = \frac{1}{R2 C}$$

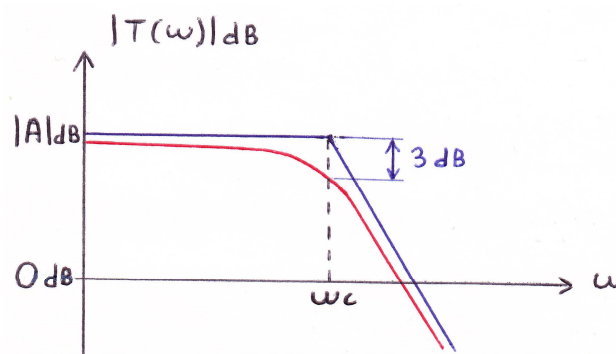
• Gain :

$$|T| = \frac{A}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^2}}$$

• Gain en dB :

$$|T|_{dB} = 20 \log(A) - 10 \log\left(1 + \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^2\right)$$

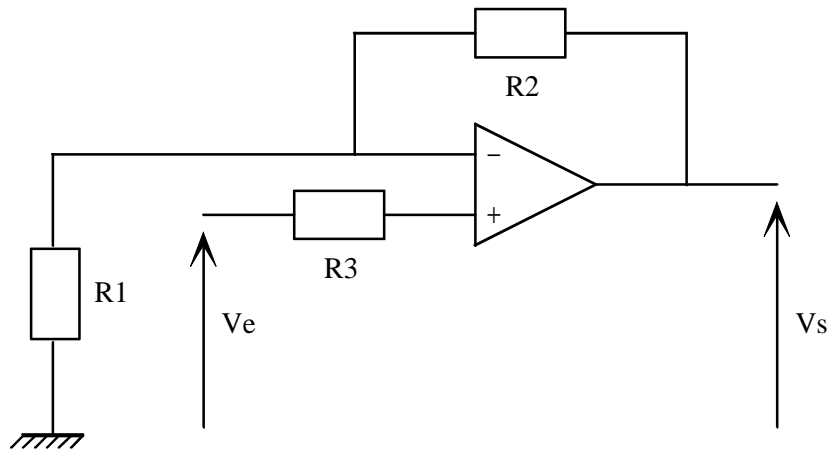
• Réponse fréquentielle :



# Travaux Dirigés

## Problème n°1 :

L'amplificateur du circuit ci-dessous est alimenté par une tension symétrique  $V_{cc} = \pm 15V$  :

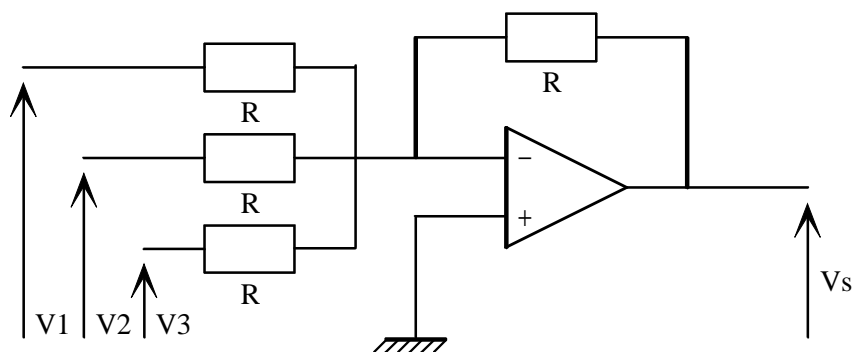


On donne  $R1 = R2 = R3 = 1k\Omega$ .

- 1) Calculer le gain en tension du montage. En déduire la fonction réalisée par ce circuit.
- 2) Représenter la caractéristique de transfert en tension du circuit  $V_s(V_e)$ . En déduire l'amplitude maximale du signal d'entrée notée  $V_{e\max}$  permettant de rester dans le domaine de fonctionnement linéaire.

## Problème n°2 :

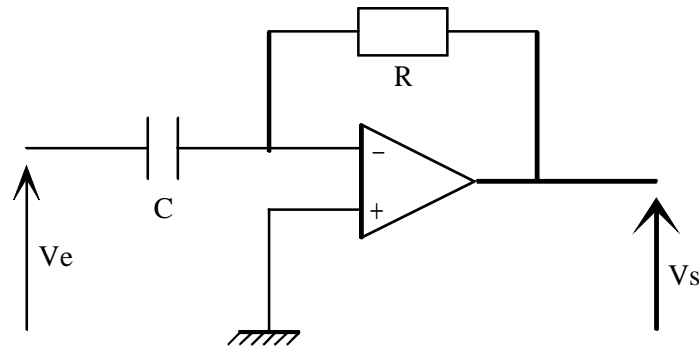
On considère le circuit ci-dessous :



- 1) Exprimer la tension de sortie  $V_s$  en fonction des tensions d'entrées  $V1$ ,  $V2$  et  $V3$ . En déduire la fonction réalisée par le circuit.

### Problème n°3 :

On considère le circuit ci-dessous :

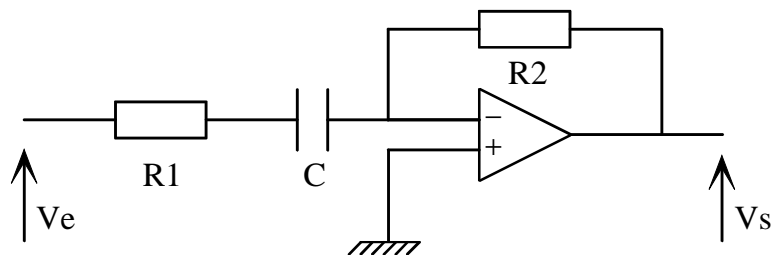


On donne  $R = 1\text{k}\Omega$  et  $C = 10\mu\text{F}$ .

- 1) Exprimer la tension de sortie  $V_s$  en fonction du signal d'entrée  $V_e$ . En déduire le rôle joué par le circuit.
- 2) Déterminer la fréquence maximale  $f_{\max}$  permettant d'utiliser ce circuit en fonctionnement linéaire pour un signal d'entrée sinusoïdal d'amplitude  $2\text{V}$ .
- 3) Donner l'allure de  $V_s(t)$  lorsque la fréquence du signal d'entrée est réglée à  $50\text{Hz}$ .

### Problème n°4 :

On considère le filtre actif de la figure ci-dessous :

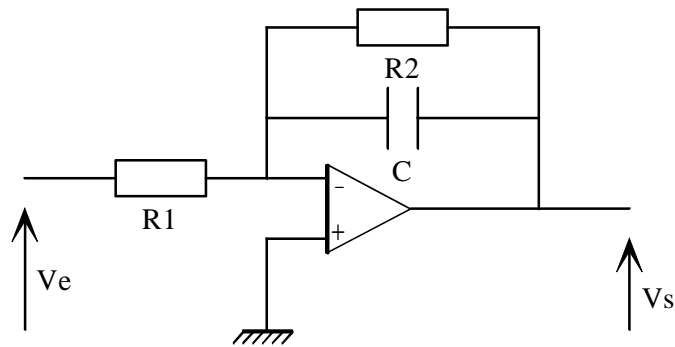


On donne  $R_1 = 1\text{k}\Omega$  et  $C = 100\text{nF}$ .

- 1) Déterminer la fonction de transfert complexe  $T = V_s/V_e$ .
- 2) Etablir l'expression du module de  $T$  et en déduire la nature du filtre.
- 3) Calculer la valeur de  $R_2$  permettant d'obtenir un gain maximum de  $20\text{dB}$ .
- 4) Calculer la fréquence de coupure  $f_c$  du filtre et tracer son diagramme de Bode asymptotique.

**Problème n°5 :**

On considère le filtre actif de la figure ci-dessous :



On donne  $C = 10\text{nF}$ .

On souhaite supprimer des parasites hautes fréquences de l'ordre de **100kHz** sur un signal de fréquence **1kHz**. On utilise pour cela un filtre passe-bas décrit par la fonction de transfert :

$$T = \frac{V_s}{V_e} = \frac{A}{1 + j \frac{\omega}{\omega_c}}$$

avec

$$\begin{cases} A = -\frac{R_2}{R_1} \\ \omega_c = \frac{1}{R_2 C} \end{cases}$$

On veut que le signal utile soit amplifié de **6dB** et que les signaux parasites soient atténués de **14dB**.

- 1) Montrer que le filtre est bien de type passe-bas.
- 2) Calculer graphiquement la fréquence de coupure **fc** du filtre en utilisant son diagramme de Bode asymptotique.
- 3) Déterminer les valeurs de **R1** et **R2** permettant de remplir le cahier des charges.