



Cours d'Electronique analogique

© Fabrice Sincère (version 2.0.1)

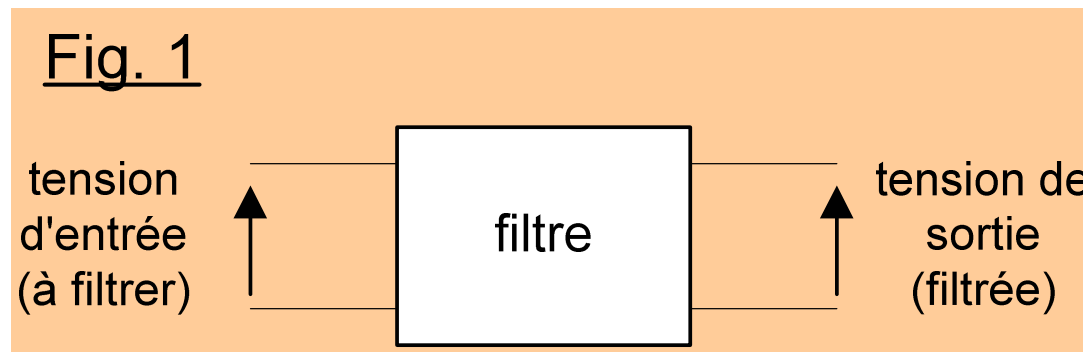
<http://perso.orange.fr/fabrice.sincere>

Chapitre 3

Filtrage analogique

Introduction

Un filtre est un circuit dont le comportement dépend de la fréquence.

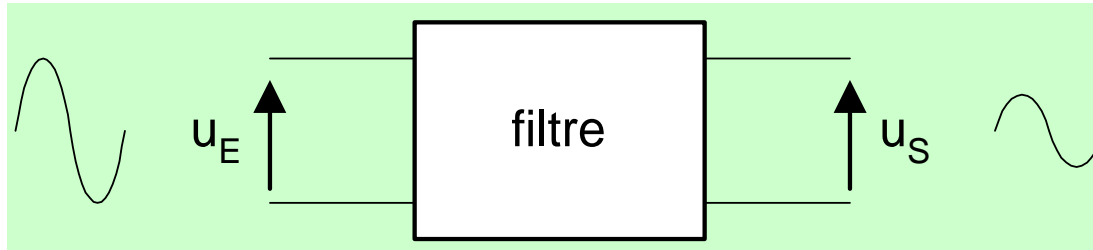


Un filtre est un circuit linéaire.

⇒ si la tension d'entrée est sinusoïdale alors la tension de sortie est sinusoïdale de même fréquence.

Remarque : une tension continue possède une fréquence nulle.

3-1- Etude du filtre en régime sinusoïdal



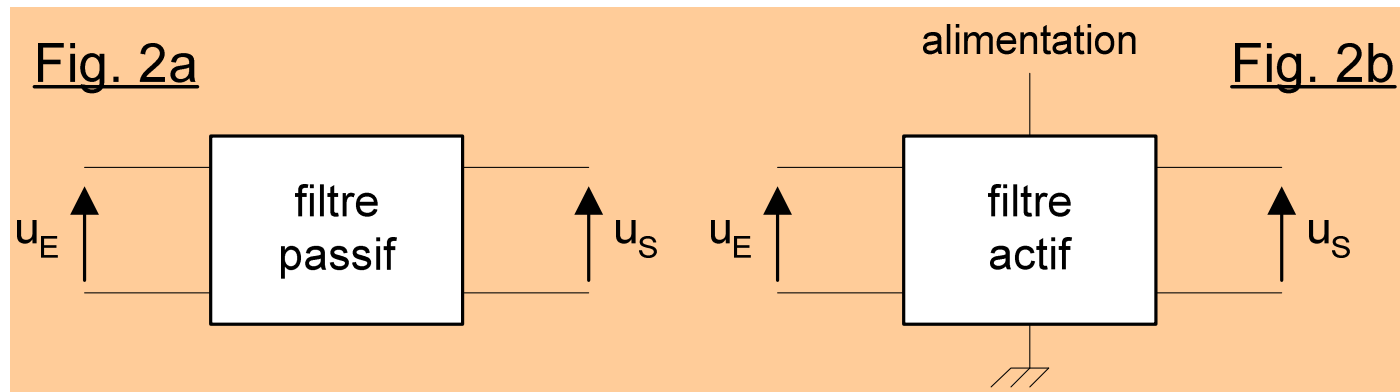
La principale caractéristique d'un filtre est sa *réponse en fréquence* : $A_V(f)$

A_V désigne l'amplification en tension :

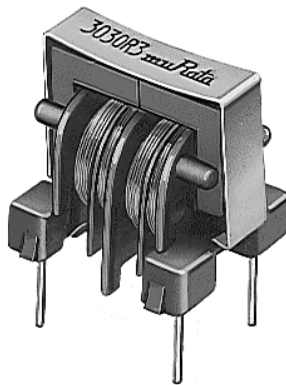
$$A_V = \frac{\hat{u}_S}{\hat{u}_E} = \frac{\text{amplitude de la tension de sortie}}{\text{amplitude de la tension d'entrée}}$$

Une autre caractéristique est sa *réponse en phase* : $\varphi_{u_S/u_E}(f)$

3-1-1- Filtre actif et filtre passif



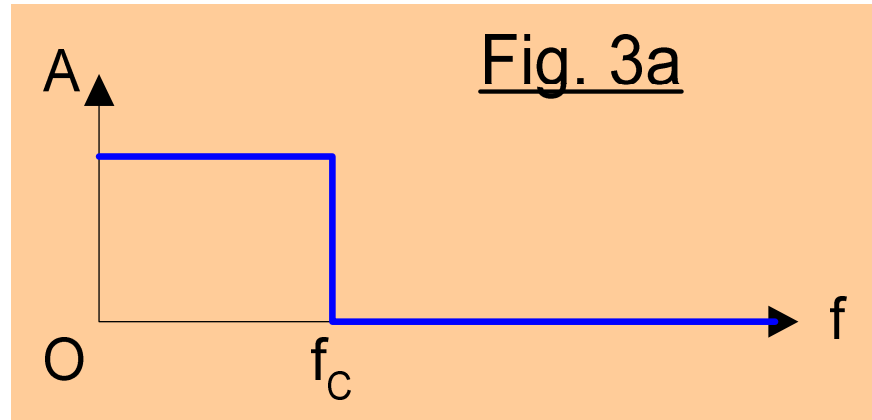
- filtre passif : on y trouve résistances, bobines et condensateurs.



- filtre actif : alimentation externe, transistors, A.O.

3-1-2- Les principaux types de filtres (idéaux)

a- Filtre passe-bas



Ce filtre ne laisse passer que les basses fréquences du signal d'entrée. Les hautes fréquences sont donc filtrées.

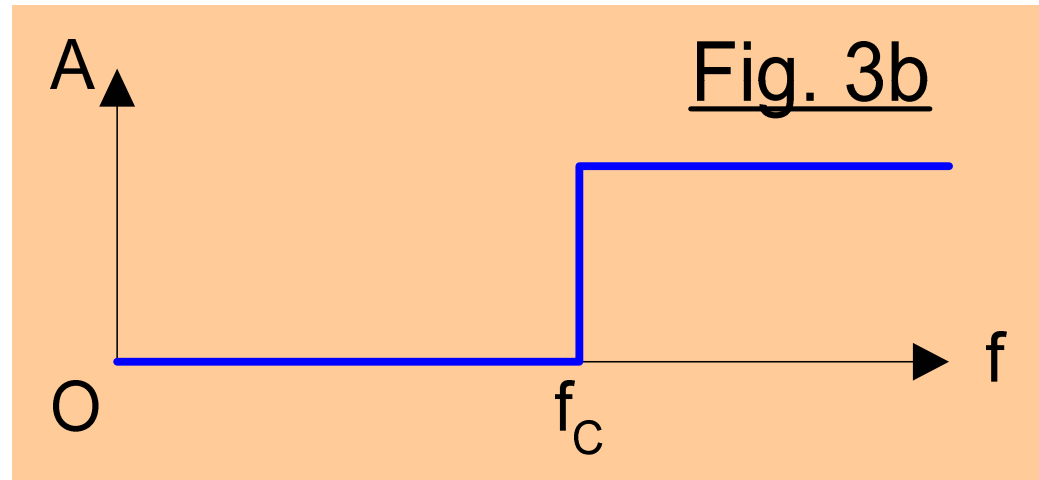
La limite entre BF et HF est appelée *fréquence de coupure* f_c .

La *bande passante* est la gamme de fréquence non filtrée :

$$BP = [0, f_c]$$

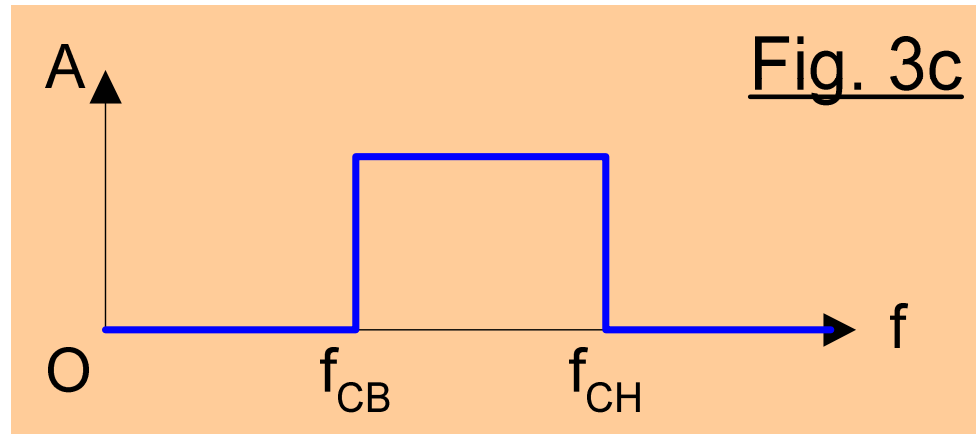
A noter que les signaux continus ($f = 0$) ne sont pas filtrés.

b- Filtre passe-haut



Ce filtre ne laisse passer que les hautes fréquences.
 $BP = [f_c, \infty[$

c- Filtre passe-bande



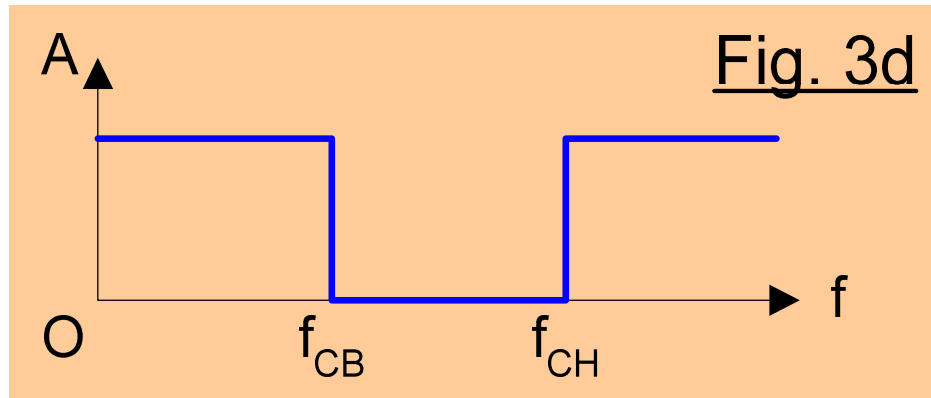
Ce filtre ne laisse passer qu'une bande de fréquences.

Il possède deux fréquences de coupure :

- la fréquence de coupure basse
- et la fréquence de coupure haute

$$BP = [f_{CB}, f_{CH}]$$

d- Filtre coupe-bande (ou réjecteur de bande)



3-1-3- Filtres réels

Prenons l'exemple d'un filtre passe-bande :

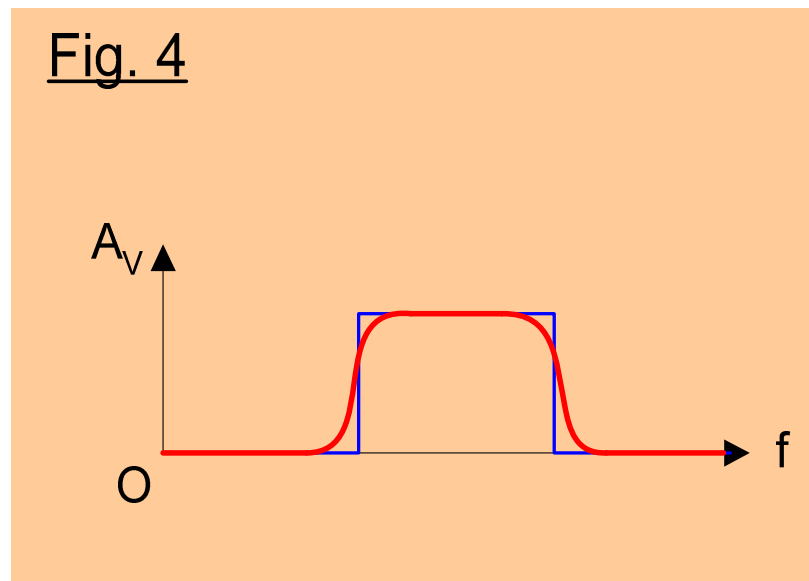
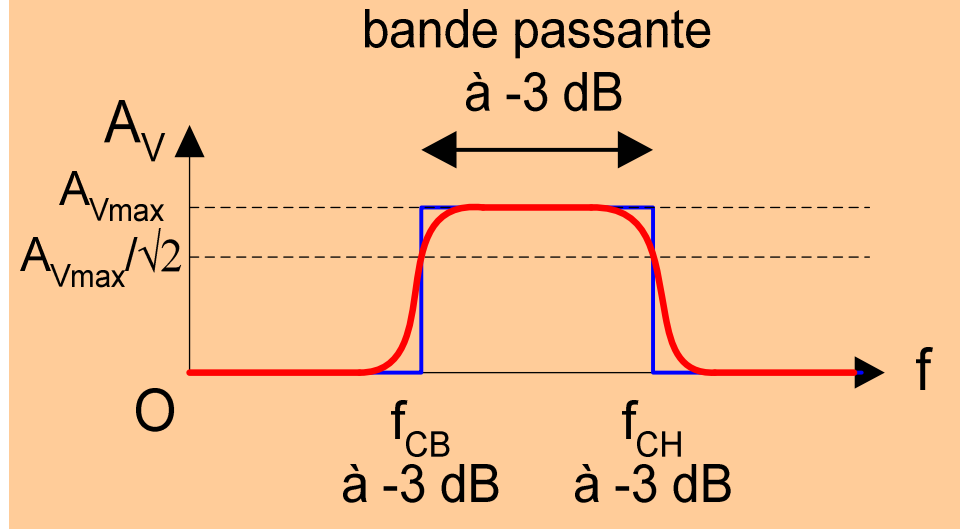


Fig. 4



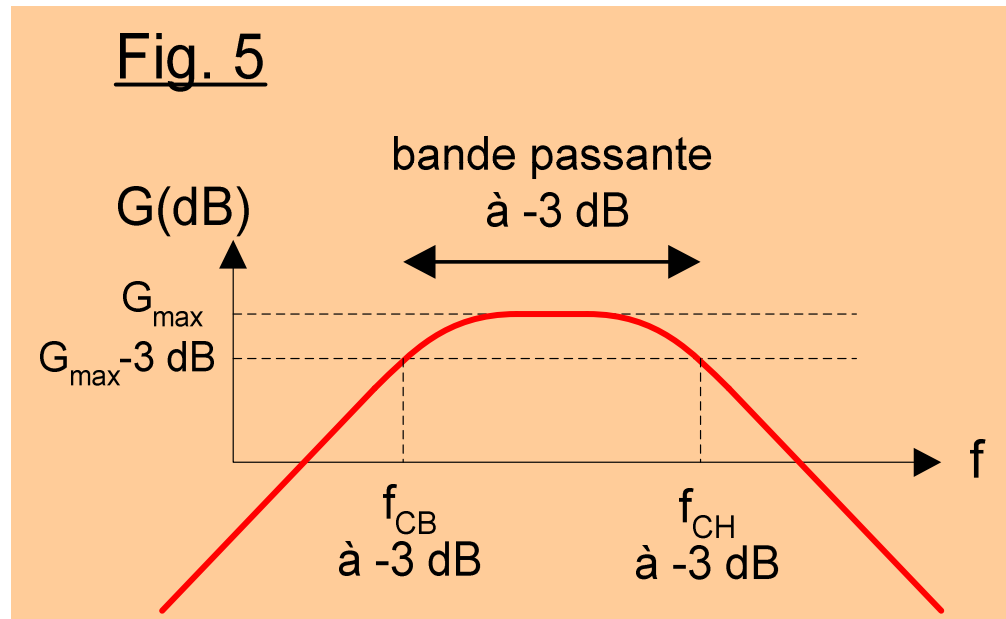
Les fréquences de coupure « à - 3 dB » sont définies de la manière suivante :
ce sont les fréquences qui correspondent à l'amplification maximale divisée par $\sqrt{2}$.

$$A_V(f_C) = \frac{A_{Vmax}}{\sqrt{2}}$$

- Diagramme de Bode du gain

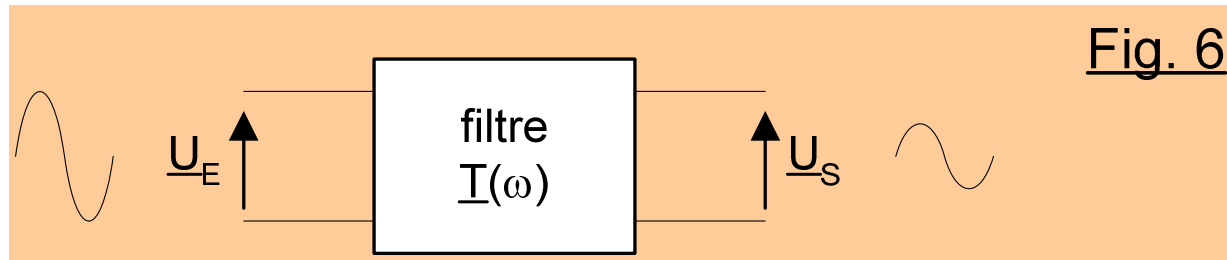
Le diagramme de Bode donne le gain en fonction de la fréquence (ou de la pulsation).

L'échelle des fréquences est logarithmique :



3-1-4- Fonction de transfert d'un filtre (ou transmittance complexe)

La fonction de transfert est une fonction mathématique qui décrit le comportement en fréquence d'un filtre (en régime sinusoïdal).



$$\underline{T}(\omega) = \frac{\underline{U}_S}{\underline{U}_E}$$

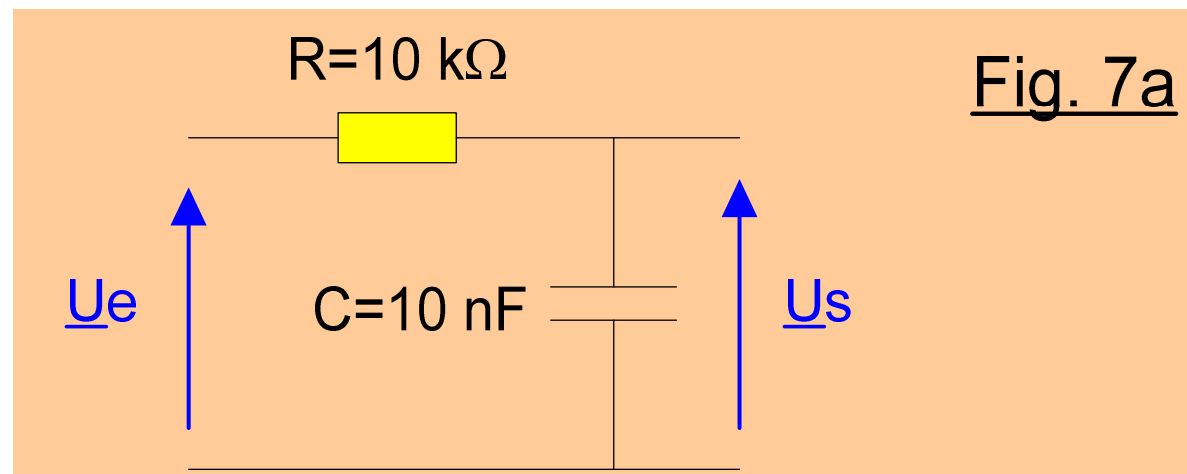
Le module de la fonction de transfert correspond à l'amplification en tension :

$$T(\omega) = |\underline{T}(\omega)| = \left| \frac{\underline{U}_S}{\underline{U}_E} \right| = \frac{U_{S\text{eff}}}{U_{E\text{eff}}} = \frac{\hat{u}_S}{\hat{u}_E} = \frac{\text{amplitude de la tension de sortie}}{\text{d'entrée}}$$

Le déphasage entre la sortie et l'entrée est fourni par l'argument :

$$\arg(\underline{T}(\omega)) = \arg\left(\frac{\underline{U}_S}{\underline{U}_E}\right) = \arg \underline{U}_S - \arg \underline{U}_E = \varphi_{us} - \varphi_{ue} = \varphi_{us/ue}$$

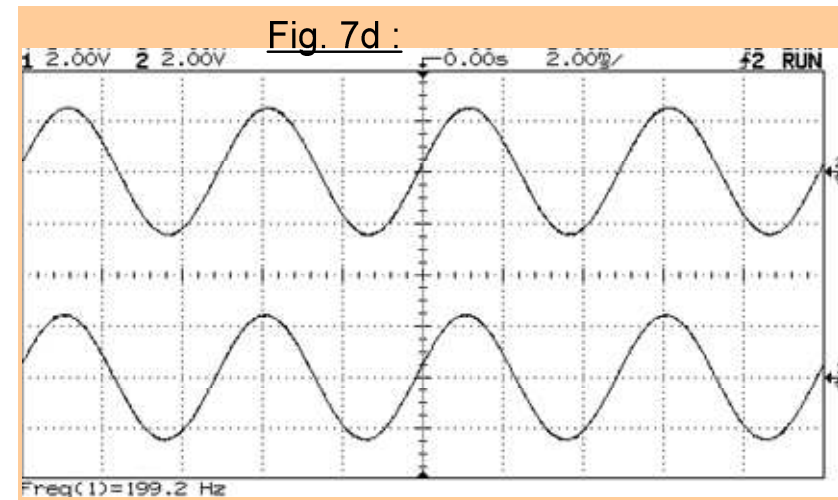
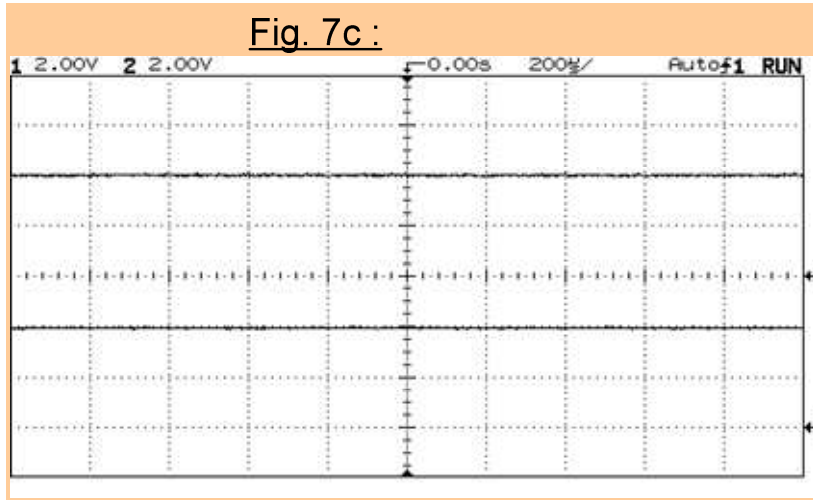
3-1-5- Exemple n°1 : filtre passe-bas passif



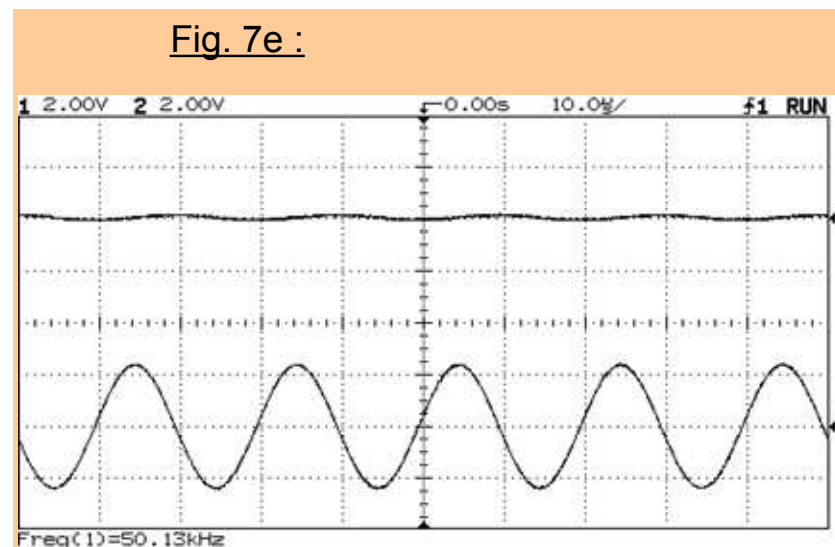
Il s'agit d'un filtre « RC ».

- Résultats expérimentaux

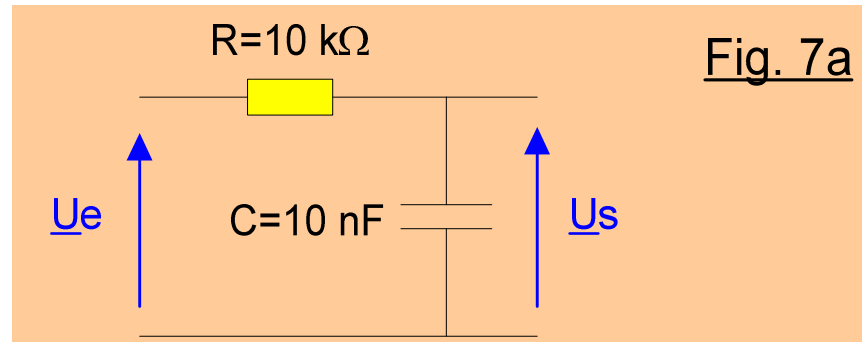
En régime continu et en basse fréquence ($f \ll f_C$), $u_S = u_E$:



En haute fréquence ($f \gg f_C$), le signal de sortie s'annule :



- Fonction de transfert



Appliquons la formule du diviseur de tension :

$$\underline{U}_S = \frac{\underline{Z}_C}{\underline{Z}_R + \underline{Z}_C} \underline{U}_E = \frac{1}{R + \frac{1}{jC\omega}} \underline{U}_E = \frac{1}{1 + jRC\omega} \underline{U}_E$$

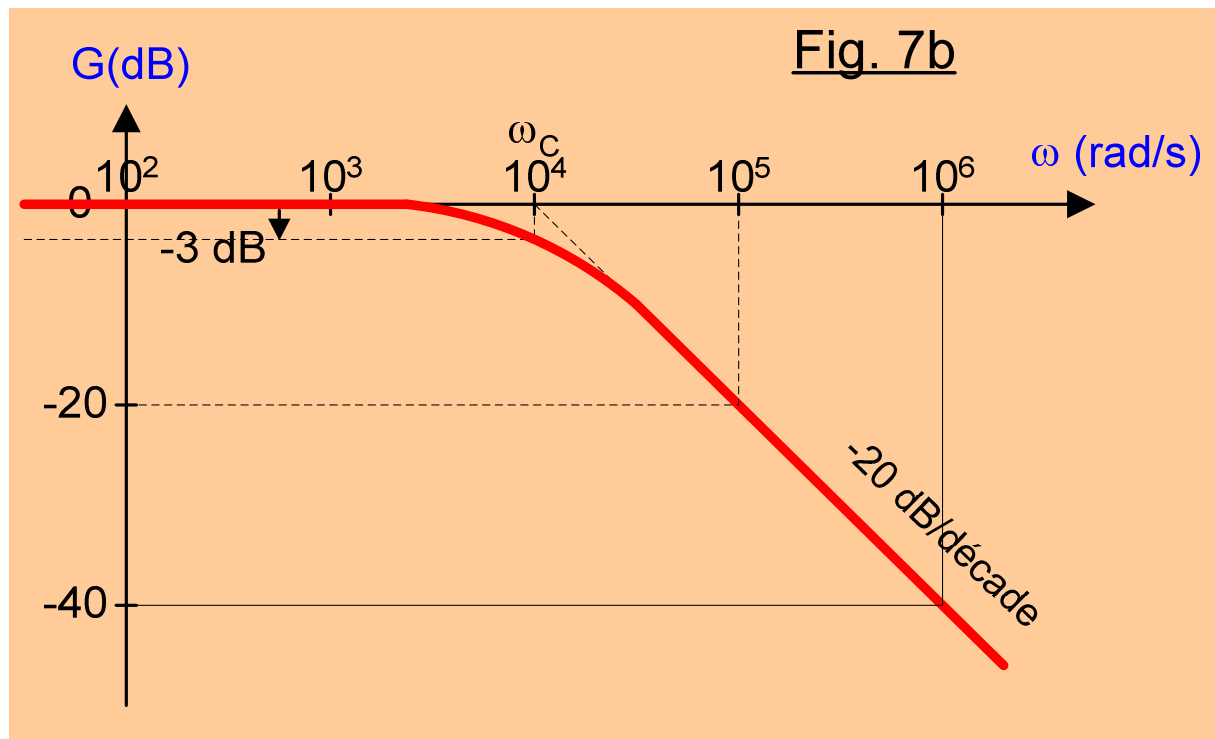
$$\underline{T}(\omega) = \frac{\underline{U}_S}{\underline{U}_E} = \frac{1}{1 + jRC\omega}$$

Nous en déduisons l'amplification en tension :

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

- Diagramme de Bode du gain

$$G(\omega) = 20 \cdot \log_{10} T(\omega) = -20 \cdot \log_{10} \left(\sqrt{1 + (RC\omega)^2} \right)$$



- Fréquence de coupure à -3 dB

La pulsation de coupure est solution de l'équation :

$$T(\omega_C) = \frac{T_{\max}}{\sqrt{2}}$$

$$T_{\max} = T(\omega \rightarrow 0) = 1$$

$$\frac{1}{\sqrt{1 + (RC\omega_C)^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

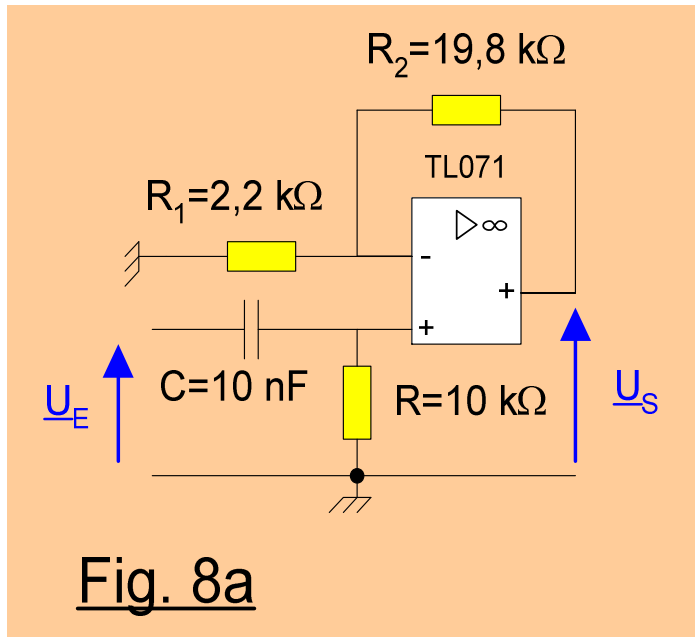
d'où : $RC\omega_C = 1$ et :

$$f_C = \frac{1}{2\pi RC}$$

A.N. $R = 10 \text{ k}\Omega$ et $C = 10 \text{ nF}$

$\omega_C = 10\,000 \text{ rad/s}$; $f_C = 1,6 \text{ kHz}$

3-1-6- Exemple n°2 : filtre passe-haut actif



- Fonction de transfert

$$\underline{T}(\omega) = \frac{\underline{U}_S}{\underline{U}_E} = \frac{1 + \frac{R_2}{R_1}}{1 - \frac{j}{RC\omega}}$$

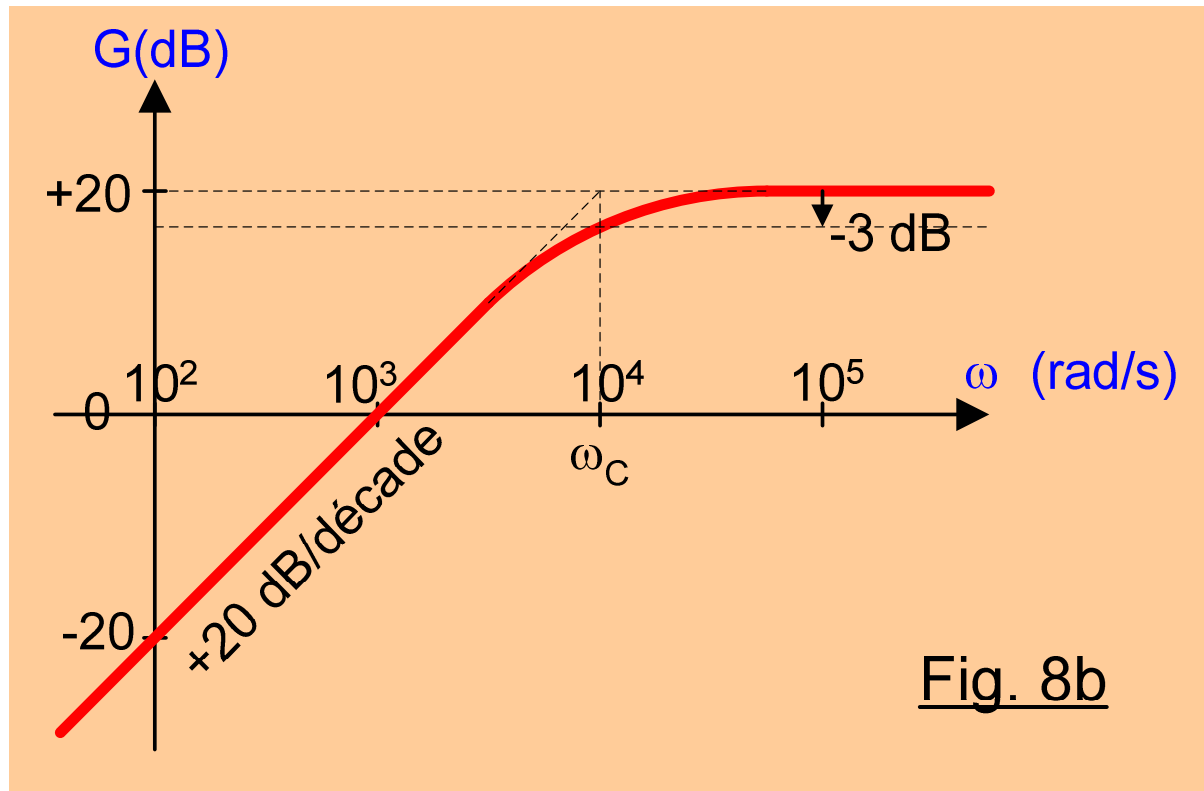
- Fréquence de coupure à -3 dB

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

A.N. $R = 10 \text{ k}\Omega$ et $C = 10 \text{ nF}$

$$f_c = 1,6 \text{ kHz}$$

- Diagramme de Bode du gain



$$T_{\max} = T(\omega \rightarrow \infty) = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

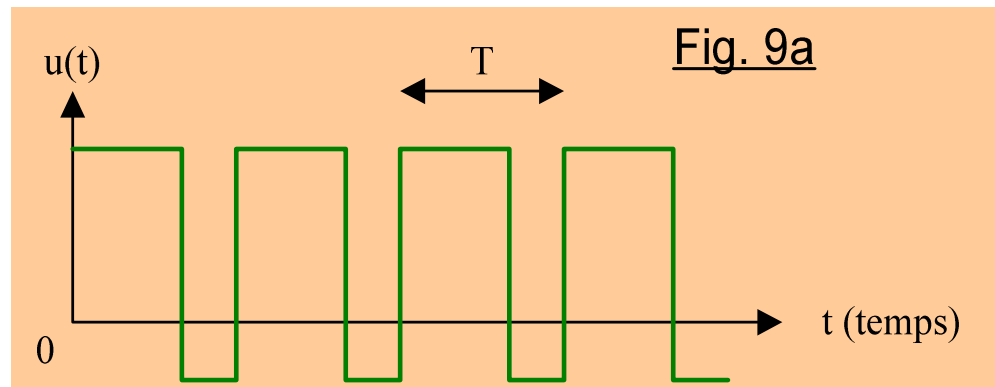
A.N. $R_1 = 2,2 \text{ k}\Omega$ et $R_2 = 19,8 \text{ k}\Omega$

$$T_{\max} = 10 ; G_{\max} = +20 \text{ dB}$$

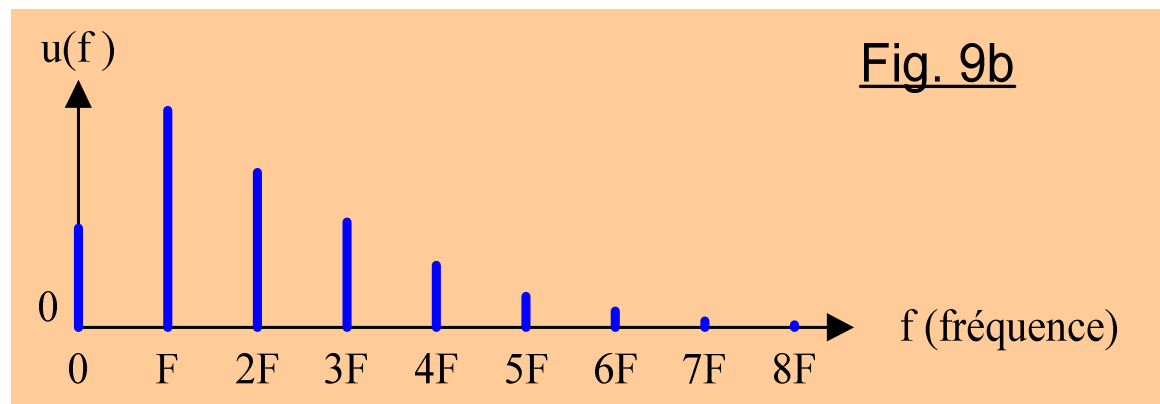
3-2- Filtre en régime non sinusoïdal

3-2-1- Introduction : représentation fréquentielle d'un signal

Considérons un signal périodique, par exemple une tension rectangulaire de fréquence $F = 1/T$:



La représentation fréquentielle (ou spectre de fréquence) de ce signal est :



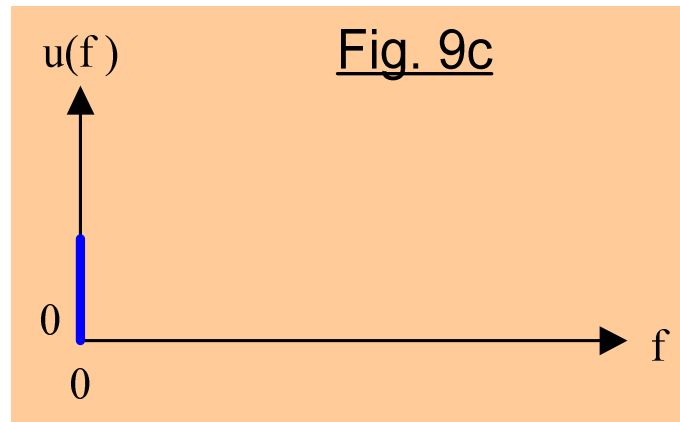
- Théorème de Fourier

Tout signal périodique de fréquence F peut se décomposer de façon unique en la somme :

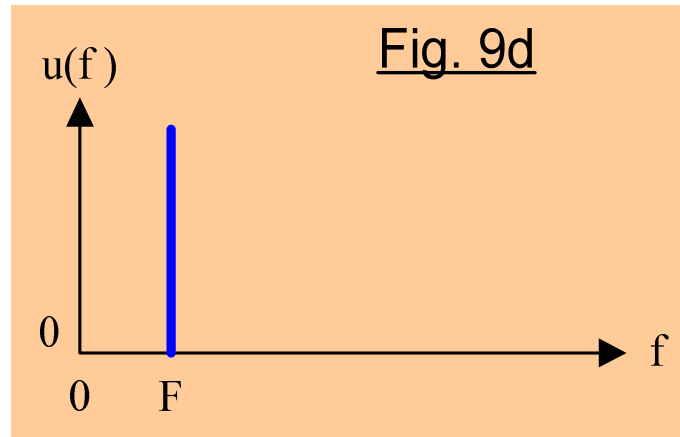
- d'une composante continue égal à la valeur moyenne
- d'une composante sinusoïdale de fréquence F appelée le *fondamental*
- de composantes sinusoïdales de fréquences **multiples** de F appelées *harmoniques*

- Signaux particuliers

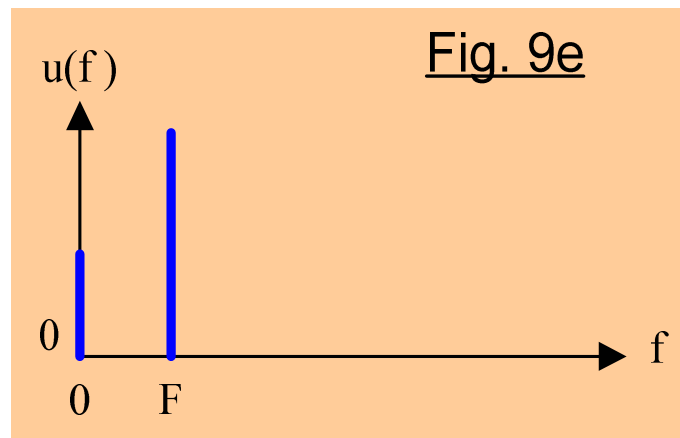
- signal continu



- signal sinusoïdal alternatif (fréquence F)



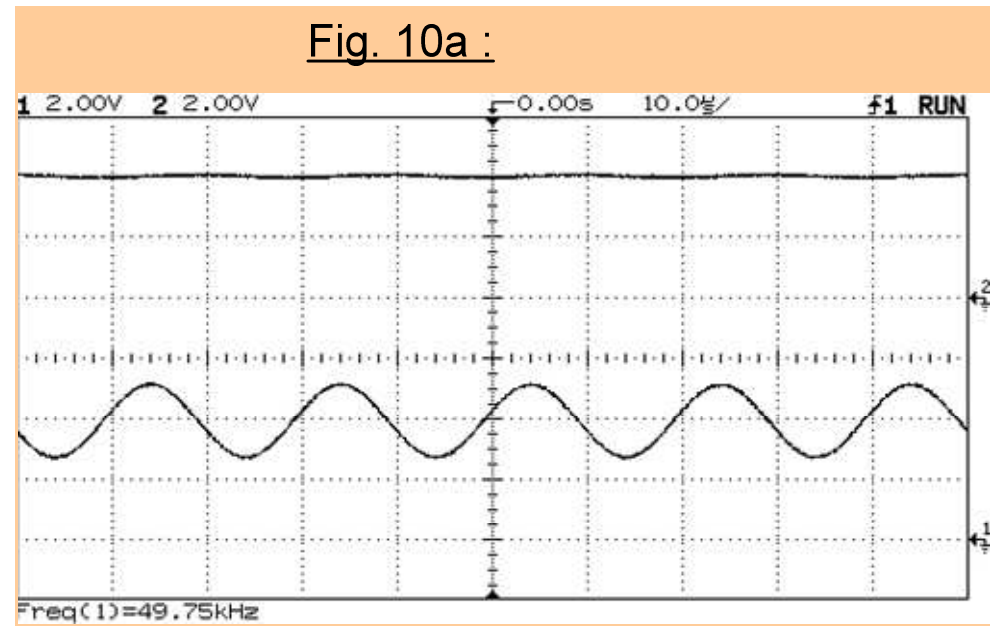
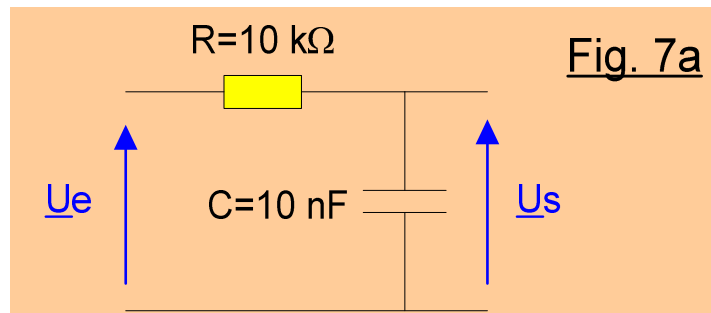
- signal sinusoïdal avec composante continue



3-2-2- Exemples d'application

a- Filtre DC

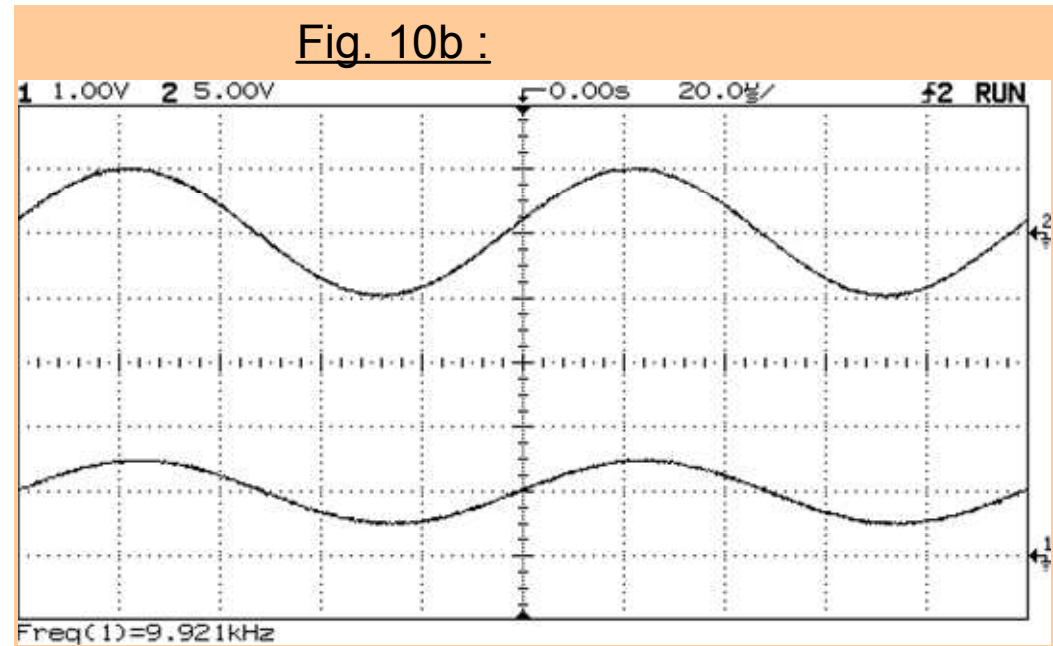
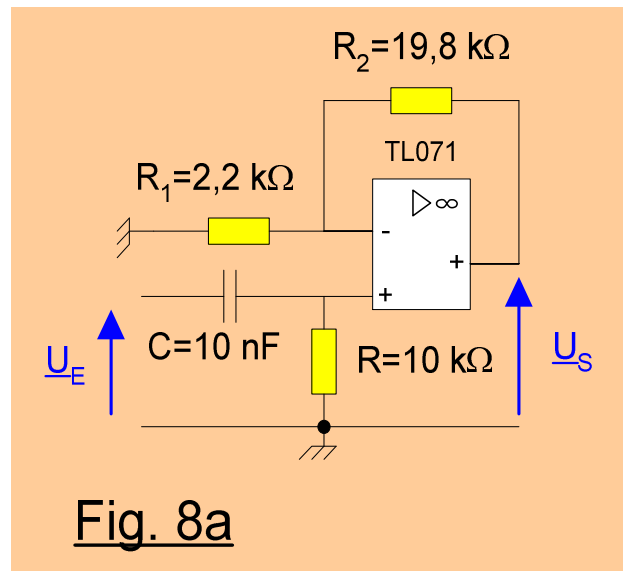
Un filtre DC sert à extraire la composante continue d'un signal.
Il faut donc un filtre passe-bas de fréquence de coupure $f_C \ll F$:



b- Filtre AC

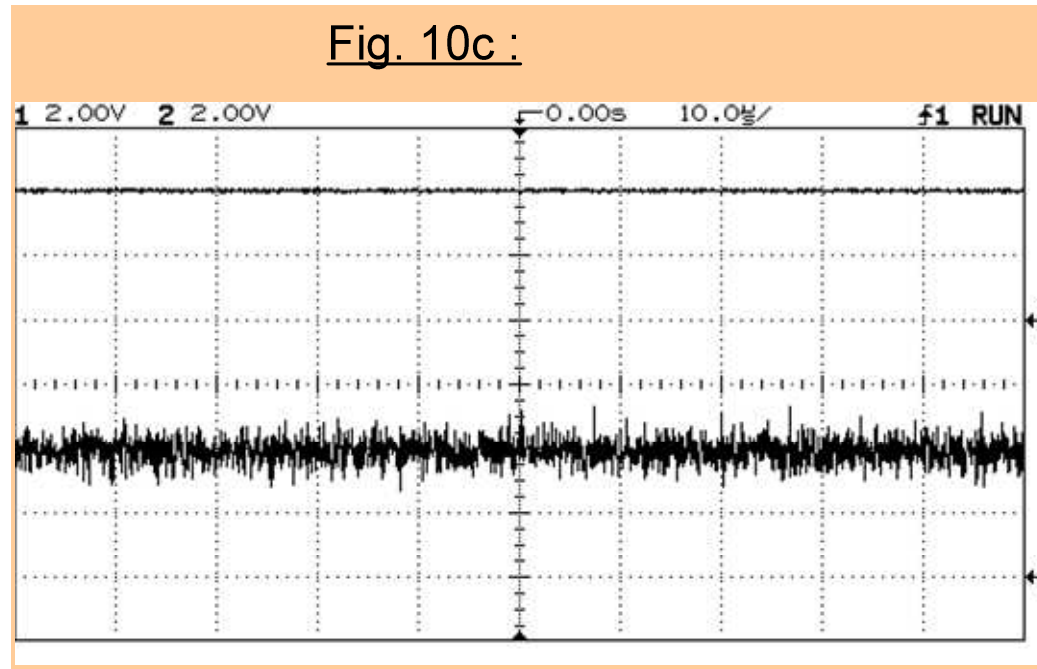
Le rôle d'un filtre AC est d'extraire la composante alternative d'un signal, ce qui revient à filtrer la composante continue.

On utilise un filtre passe-haut de fréquence de coupure $f_C \ll F$:

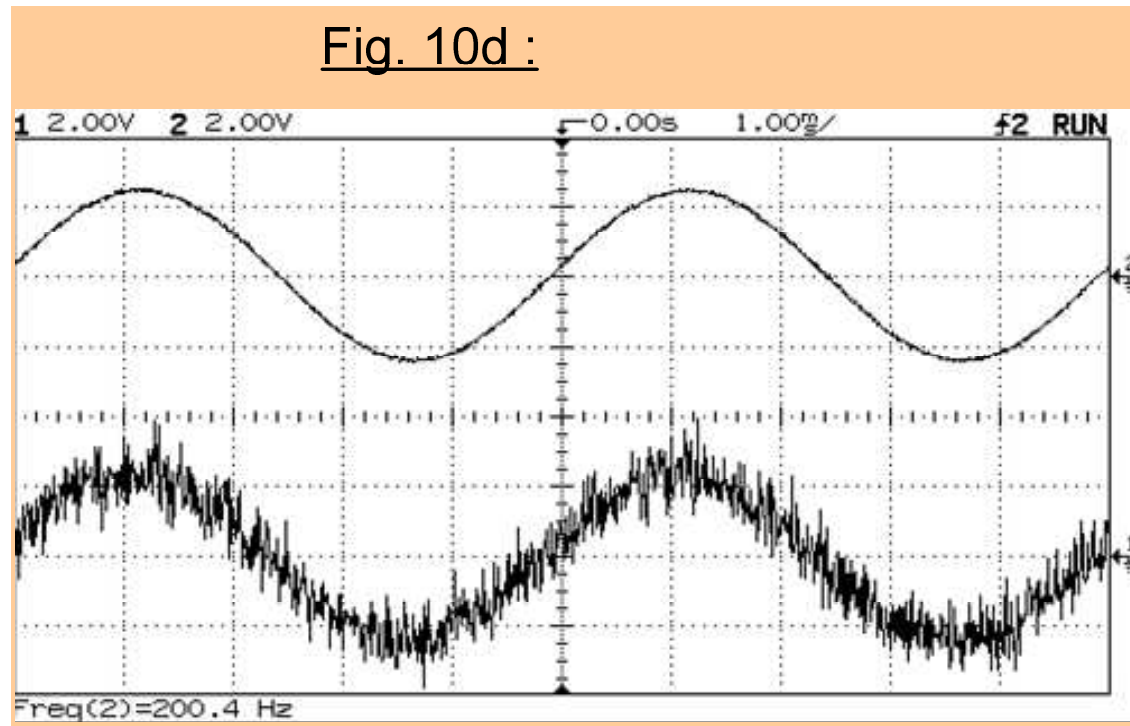


c- Filtre « antiparasites »

Un signal continu parasité est filtré avec un filtre passe-bas :



Un signal sinusoïdal parasite est filtré avec un filtre passe-bas de fréquence de coupure $f_C \gg F$:



d- Filtrage d'une carte électronique

