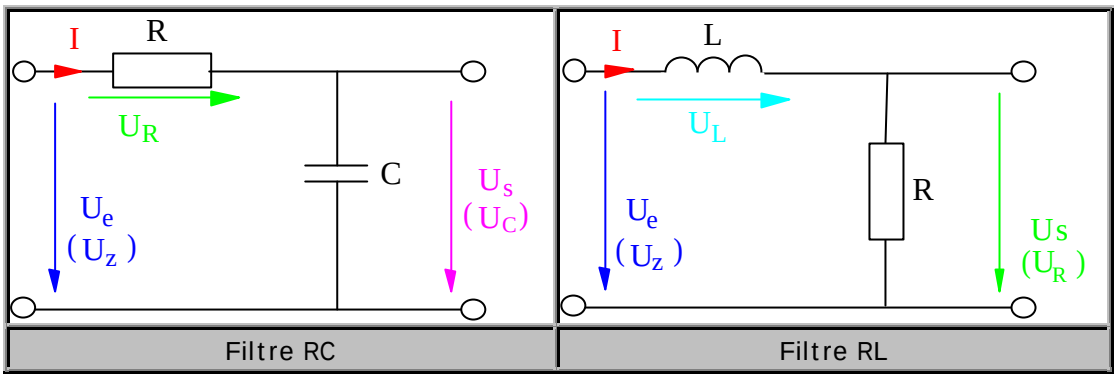
Les filtres du premier ordre

Schémas



Calculs des valeurs des filtres :

Avant de tracer les caractéristiques de nos deux filtres, nous pouvons calculer les différentes valeurs présentes dans les circuits. Pour cela nous utiliserons les notions de base des circuits RL et RC en régime alternatif.

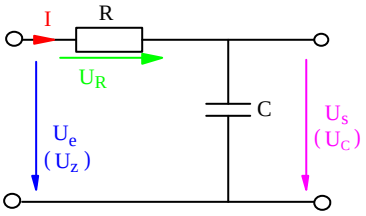
$$Z = \sqrt{R^2 + X_C{}^2} \qquad Z = \sqrt{R^2 + X_L{}^2}$$

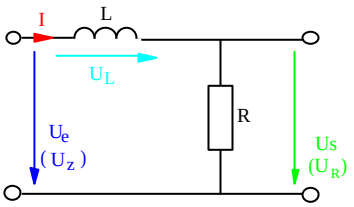
$$I = \frac{U}{Z} \qquad U_R = R \cdot I \qquad U_C = X_C \cdot I \qquad U_L = X_L \cdot I$$

Nous devons également définir des valeurs pour les éléments des circuits. Pour cet exemple, elles ne sont pas le fruit du hasard, comme nous le comprendrons un peu plus tard dans ce chapitre.

Pour les deux filtres : R = 470 [Ω] C= 340 [nF] L = 74.8 [mH]

Tableau des valeurs calculées pour les deux filtres RC et RL passe-bas :





f [Hz]	R [Ω]	C [nF]	X_C [Ω]	Z [Ω]	I [mA]	U_R [V]	U_C [V]
100	470	340	4681	4704	2.13	1.01	9.95
250	470	340	1872	1930	5.2	2.4	9.7
500	470	340	918	1047	9.54	4.48	8.94
1000	470	340	468	663.3	15	7.08	7.057
1250	470	340	374.5	601	16.6	7.82	6.23
1500	470	340	312	564.2	17.7	8.33	5.53
2000	470	340	234	525	19	8.95	4.46

R [Ω]	L [mH]	X_L [Ω]	Z [Ω]	I [mA]	U_R [V]	U_L [V]
470	74.8	47	472.3	21.2	9.95	0.99
470	74.8	117.5	484.5	20.6	9.7	2.42
470	74.8	235	525.5	19	8.94	4.47
470	74.8	470	664.6	15	7.07	7.07
470	74.8	587.5	752	13.3	6.25	7.8
470	74.8	705	847.3	11.8	5.55	8.32
470	74.8	940	1051	9.5	4.47	8.94

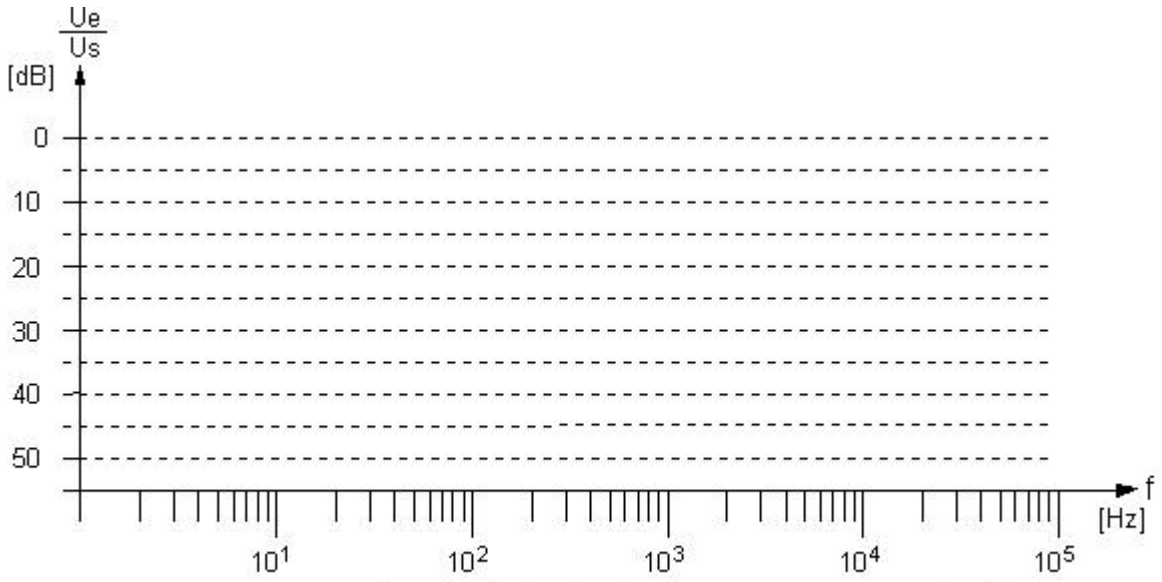
Diagrammes vectoriels :

Cette partie du cours est faite d'exercices à compléter.
Ce qui manque pour les filtres PB est complet pour les filtres PH.
Vous pouvez vous aidez en consultant la partie sur les filtre passe-bas qui est déjà complétée.

Tracer ci-dessous les diagrammes pour les fréquences indiquées.

RC pour f = 250 [Hz]	RL pour f = 250 [Hz]
RC pour f = 1000 [Hz]	RL pour f = 1000 [Hz]
RC pour f = 1500 [Hz]	RL pour f = 1500 [Hz]

Bode d'amplitude



Tracer une courbe idéalisée de la réponse en tension du filtre

Pente

La pente est le terme utilisé pour quantifier l'atténuation du filtre en fonction de la fréquence.
Plus cette pente est forte, plus le filtre est sélectif.

Rappel : une octave = fréquence doublée une décade = fréquence décuplée

Atténuations

- 6 dB / octave	- 20 dB / décade	- 1

Fréquence de coupure

Définition : On appelle fréquence de coupure (fc), ou fréquence quadrantale,
la fréquence pour laquelle X_C est égale à R (X_L = R)

$$X_L = R \quad X_C = R$$

Atténuation à fc

Nous utilisons XC lorsque la tension de sortie est mesurée sur le condensateur Nous utilisons R lorsque la tension de sortie est mesurée sur la résistance.	$\frac{U_s}{U_e} = \frac{X_C}{Z}$ $\quad Z = \sqrt{R^2 + X_C{}^2}$ pour le filtre RC $\frac{U_s}{U_e} = \frac{R}{Z}$ $\quad Z = \sqrt{R^2 + X_L{}^2}$ pour le filtre RL

Pour fc , nous savons que $X_C = R$ ou que $X_L = R$.
Nous pouvons donc remplacer les symboles X_C et X_L par R.
Cela nous donne le développement suivant :

$$\frac{U_s}{U_e} = \frac{X_C}{\sqrt{R^2 + X_C{}^2}} \quad \text{puisque pour } f_c : X_C = R \quad \text{on peut noter :}$$

$$\frac{U_s}{U_e} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + R^2}} \quad \Rightarrow \quad \frac{U_s}{U_e} = \frac{R}{\sqrt{2 \cdot R^2}} \quad \Rightarrow \quad \frac{U_s}{U_e} = \frac{R}{\sqrt{2} \cdot \sqrt{R^2}}$$

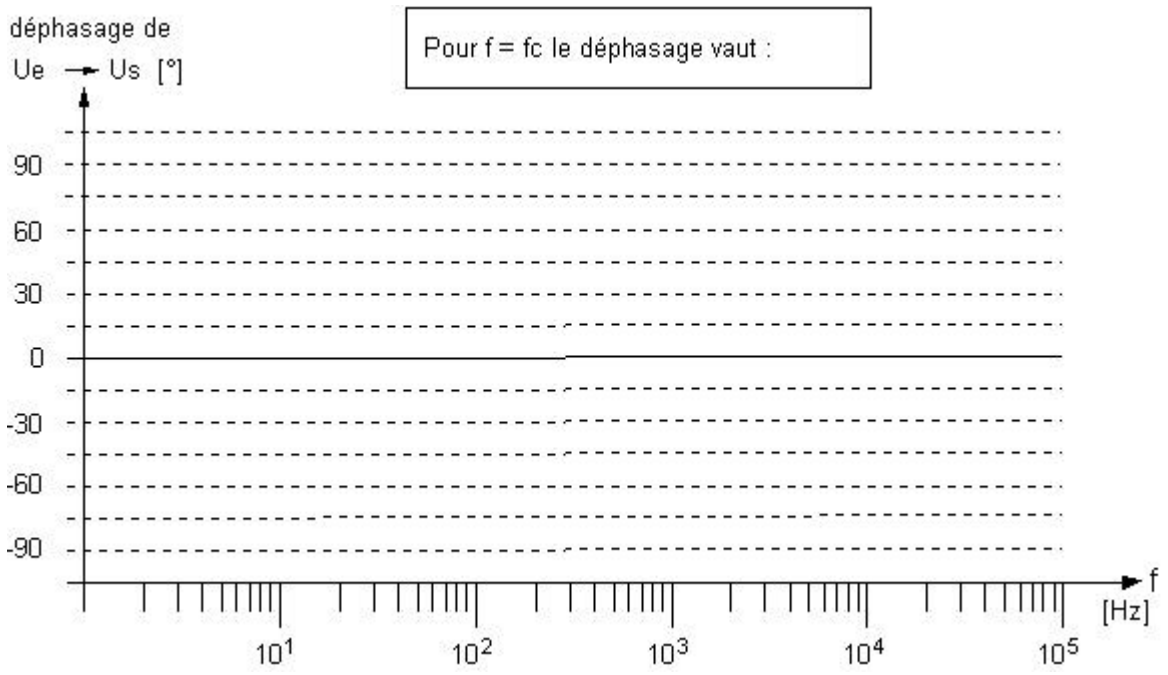
$$\frac{U_s}{U_e} = \frac{R}{\sqrt{2} \cdot R} \quad \Rightarrow \quad \frac{U_s}{U_e} = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad \Rightarrow \quad \frac{U_s}{U_e} = 0.707$$

$$\Rightarrow \quad U_s = 0.707 \cdot U_e$$

Remarque : En règle générale, nous exprimons ces valeurs en [dB].

$$\Delta N = 20 \log \frac{U_s}{U_e} \quad \Rightarrow \quad \Delta N = 20 \log(0.707) \quad \Rightarrow \quad \Delta N = -3[\text{dB}]$$

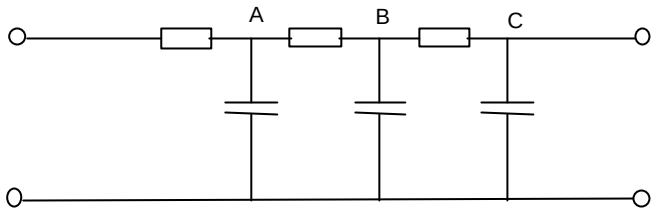
Bode de phase

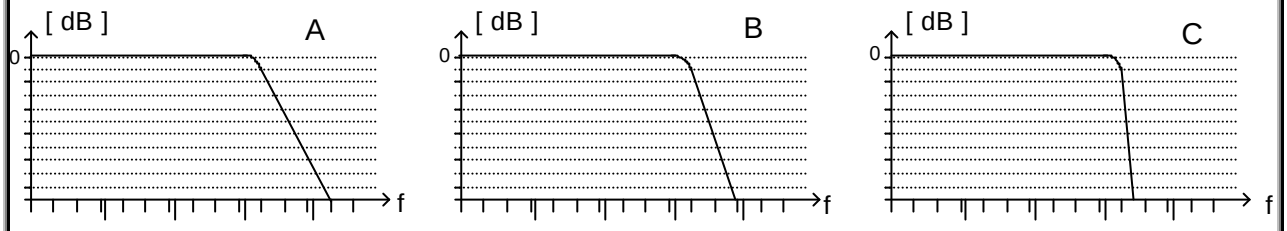


Il s'agit d'une réseau à **retard de phase**, car U_s est en retard par rapport à Ue

Exemple d'utilisation :

Il est possible de combiner des cellules de filtres les unes après les autres.
Cette méthode nous permet d'obtenir une courbe de sélectivité plus importante.





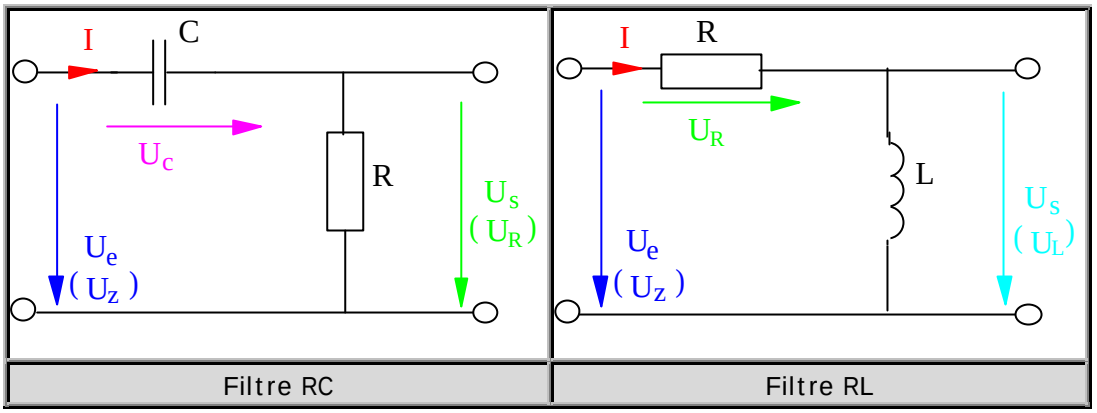
Avec un filtre de ce type, la pente du bode d'amplitude devient de plus raide
en passant de C1 à C2 et à C3

L'atténuation de ce filtre est la suivante :

cellule A	cellule B	cellule C
- 6 [dB] / oct	- 12 [dB] / oct	- 18 [dB] / oct

Filtres passe-haut du premier ordre

Schémas



Calculs des valeurs des filtres

Pour tracer les caractéristiques de nos deux filtres, nous pouvons calculer les différentes valeurs présentes dans les circuits. Nous utiliserons les notions de base des circuits RL et RC en régime alternatif.

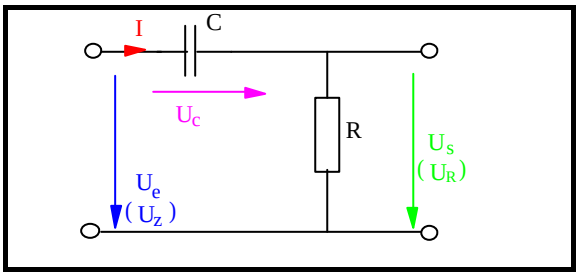
$$Z=\sqrt{R^2+X_C{}^2} \quad Z=\sqrt{R^2+X_L{}^2}$$

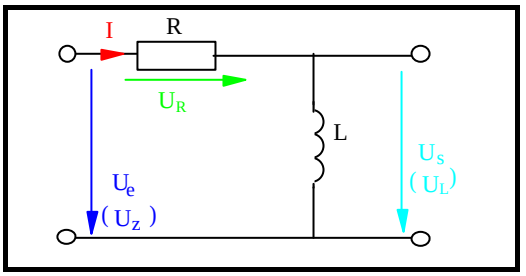
$$I=\frac{U}{Z} \qquad U_R=R\cdot I \qquad U_C=X_C\cdot I \qquad U_L=X_L\cdot I$$

Avant de poursuivre dans ce copier-coller informatique, posons-nous la question suivante :
Quelles différences allons-nous rencontrer entre les filtres RL / RC passe-bas et passe-haut ?

Votre réponse : .....

Valeurs de éléments : R = 470 [ ] C= 340 [nF] L = 74.8 [mH]
Tableau des valeurs calculées pour les deux filtres RC et RL passe-haut :

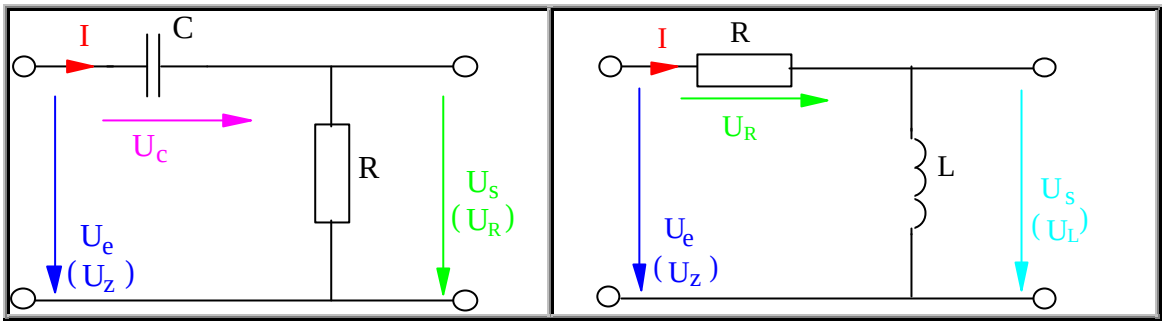




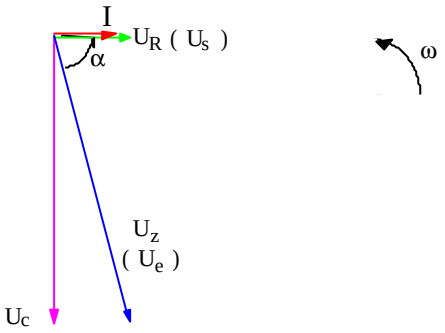
f	R	C	X_C	Z	I	U_R	U_C
[Hz]	[Ω]	[nF]	[Ω]	[Ω]	[mA]	[V]	[V]
100	470	340	4681	4704	2.13	1.01	9.95
250	470	340	1872	1930	5.2	2.4	9.7
500	470	340	918	1047	9.54	4.48	8.94
1000	470	340	468	663.3	15	7.08	7.057
1250	470	340	374.5	601	16.6	7.82	6.23
1500	470	340	312	564.2	17.7	8.33	5.53
2000	470	340	234	525	19	8.95	4.46

R	L	X_L	Z	I	U_R	U_L
[Ω]	[mH]	[Ω]	[Ω]	[mA]	[V]	[V]
470	74.8	47	472.3	21.2	9.95	0.99
470	74.8	117.5	484.5	20.6	9.7	2.42
470	74.8	235	525.5	19	8.94	4.47
470	74.8	470	664.6	15	7.07	7.07
470	74.8	587.5	752	13.3	6.25	7.8
470	74.8	705	847.3	11.8	5.55	8.32
470	74.8	940	1051	9.5	4.47	8.94

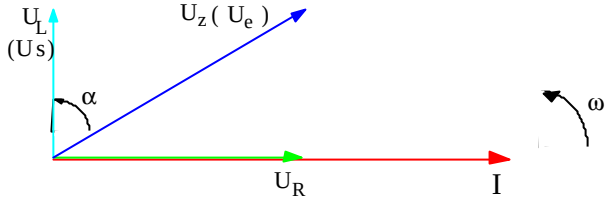
Diagrammes vectoriels



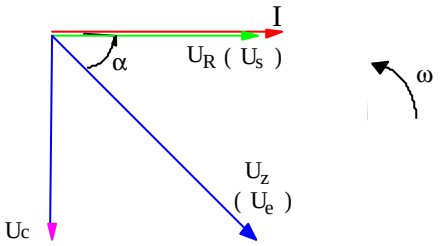
f = 250[Hz]



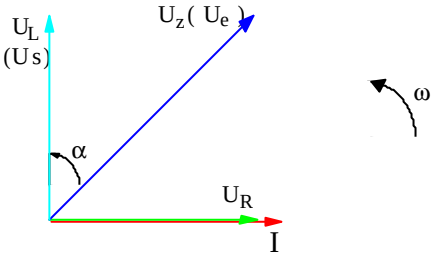
f = 250[Hz]



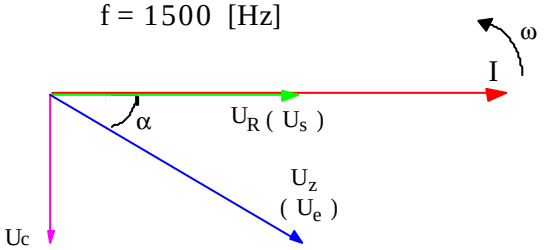
f = 1000 [Hz]



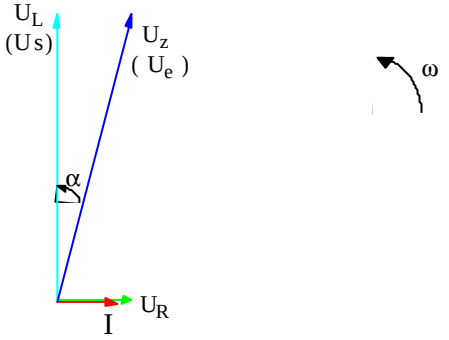
f = 1000 [Hz]



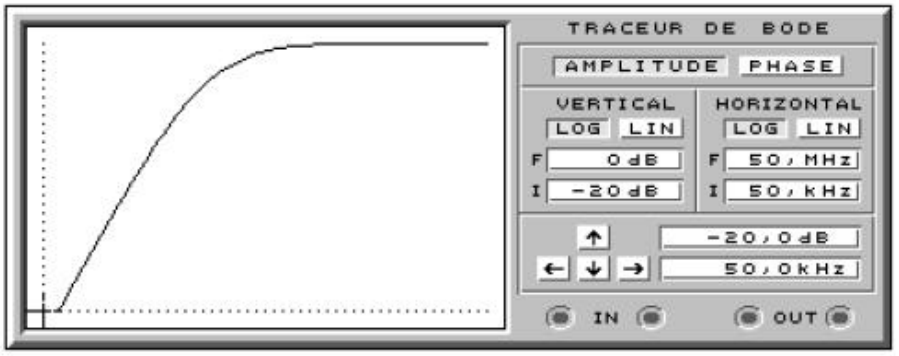
f = 1500 [Hz]



f = 1500 [Hz]



Bode d'amplitude



Pente

La pente est le terme utilisé pour quantifier l'atténuation du filtre en fonction de la fréquence.
Plus cette pente est forte, plus le filtre est sélectif.

Rappel : pour une octave, on double la fréquence

pour une décade on multiplie la fréquence par dix (10)

Atténuations

+ 6 dB / octave	+ 20 dB / décade	+ 1

Fréquence de coupure

Définition : On appelle fréquence de coupure (fc), ou fréquence quadrantale,
la fréquence pour laquelle X_C est égale à R (X_L = R)

$$X_L = R \quad X_C = R$$

Atténuation à f_c

Nous utilisons XC lorsque la tension de sortie est mesurée sur le condensateur
Nous utilisons R lorsque la tension de sortie est mesurée sur la résistance.

$$\frac{U_s}{U_e} = \frac{R}{Z} \qquad Z = \sqrt{R^2 + X_C{}^2} \quad \text{pour le filtre RC}$$

$$\frac{U_s}{U_e} = \frac{X_L}{Z} \qquad Z = \sqrt{R^2 + X_L{}^2} \quad \text{pour le filtre RL}$$

Pour fc , nous savons que $X_C = R$ ou que $X_L = R$.
Nous pouvons donc remplacer les symboles X_C et X_L par R.
Cela nous donne le développement suivant :

$$\frac{U_s}{U_e} = \frac{X_C}{\sqrt{R^2 + X_C{}^2}} \quad \text{puisque pour } f_c : X_C = R \quad \text{on peut noter :}$$

$$\frac{U_s}{U_e} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + R^2}} \quad \Rightarrow \quad \frac{U_s}{U_e} = \frac{R}{\sqrt{2 \cdot R^2}} \quad \Rightarrow \quad \frac{U_s}{U_e} = \frac{R}{\sqrt{2} \cdot \sqrt{R^2}}$$

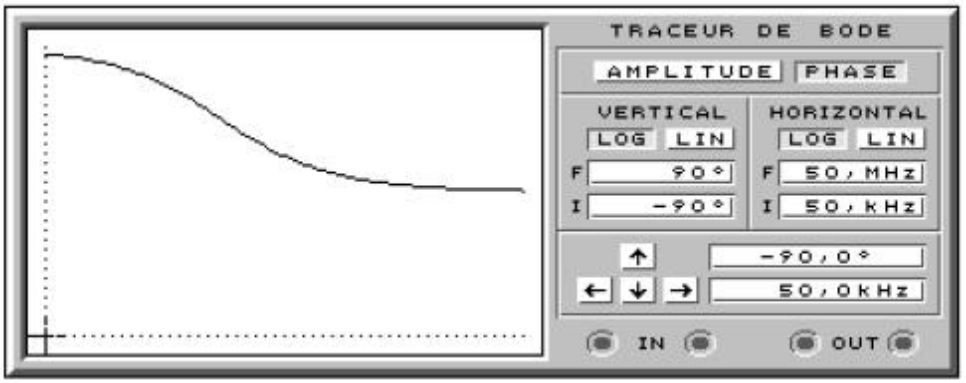
$$\frac{U_s}{U_e} = \frac{R}{\sqrt{2} \cdot R} \quad \Rightarrow \quad \frac{U_s}{U_e} = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad \Rightarrow \quad \frac{U_s}{U_e} = 0.707$$

$$\Rightarrow \quad U_s = 0.707 \cdot U_e$$

Remarque : En règle générale, nous exprimons ces valeurs en [dB].

$$\Delta N = 20 \log \frac{U_s}{U_e} \quad \Rightarrow \quad \Delta N = 20 \log(0.707) \quad \Rightarrow \quad \Delta N = -3 [dB]$$

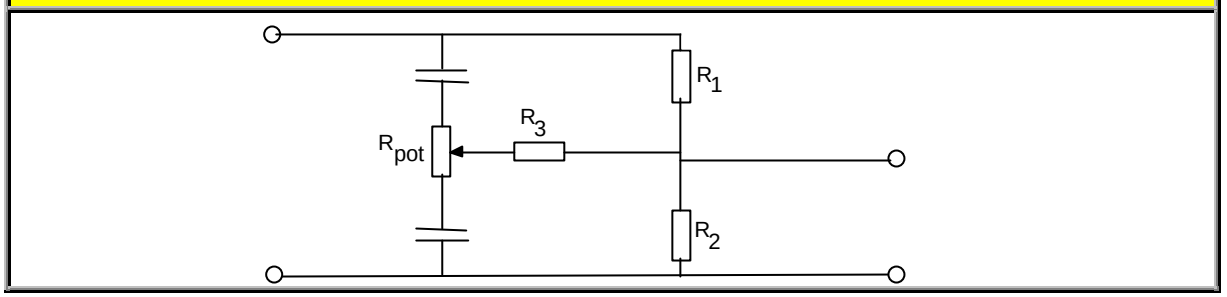
Bode de phase



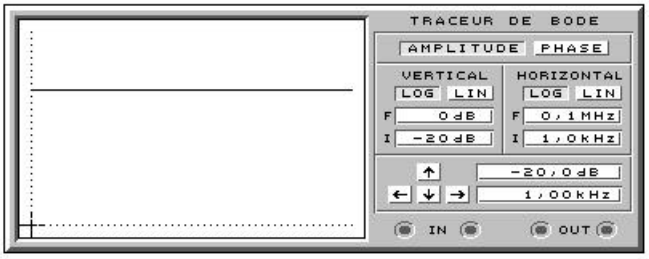
Il s'agit d'un réseau à ***avance*** de phase,
car Us est en ***avance*** par rapport à la tension d'entrée Ue.

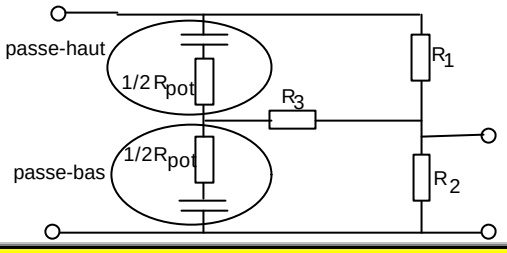
Exemple d'utilisation

En combinant les filtres que nous venons d'étudier, nous pouvons réaliser des montages qui ont une fréquence de coupure qui se déplace.

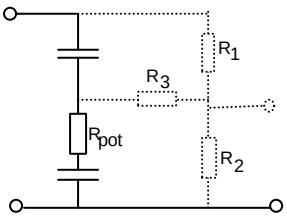


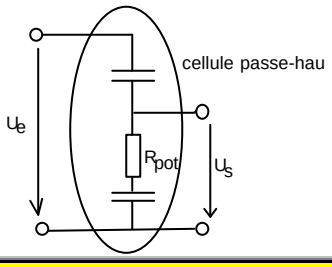
Filtre pour les fréquences aiguës dans un poste de radio.
Le potentiomètre permet de régler l'amplitude de fréquences aiguës à la sortie du filtre.
Redessinons le schéma équivalent du filtre avec le curseur du potentiomètre dans les trois positions.

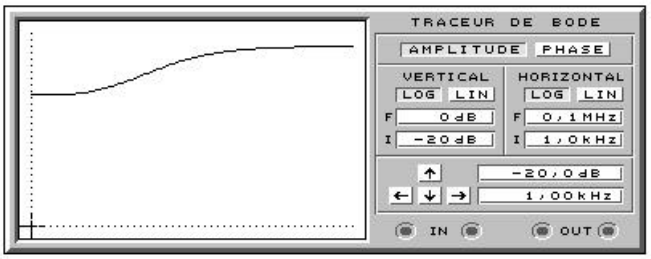




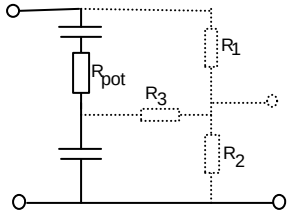
Lorsque le potentiomètre est en position médiane, les deux cellules n'ont pas d'influence sur le signal.
Nous pouvons également négliger R_3 . Les résistances R_1 et R_2 fixent le niveau de sortie. Dans cet exemple, $R_1 = R_2$, donc le rapport est de 6 [dB] comme nous l'indique le traceur de Bode

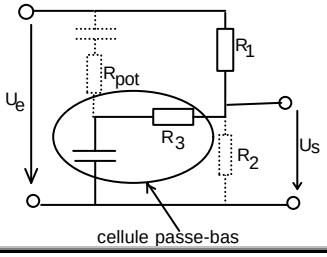


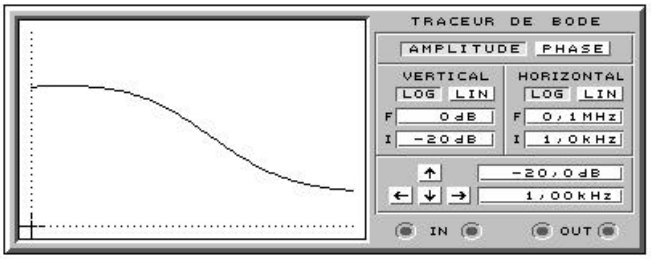




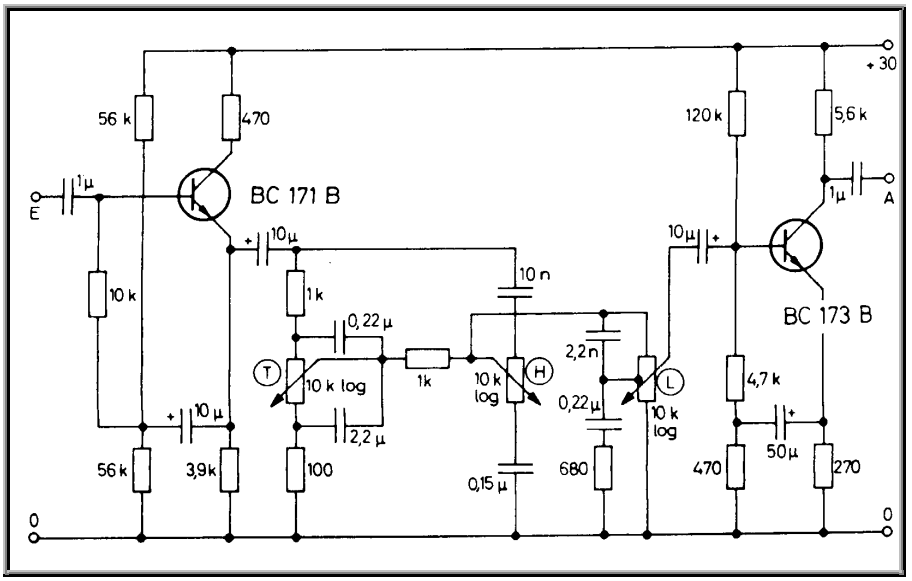
Pour l'étude avec le curseur en position maximum ou en position minimum, nous négligerons les résistances R_1 , R_2 , R_3 qui n'influencent pas le comportement en fréquence.







Schémas



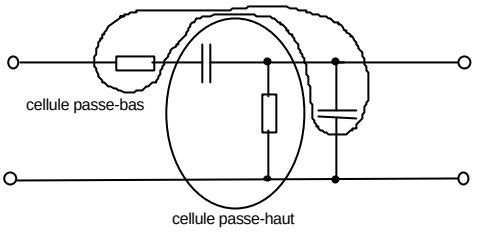
Contrôle de tonalité dans un appareil ITT. Les fonctions des potentiomètres sont les suivantes :

T = Tiefe = Basses H = Höhe = Aiguës L = Lautstärke = Volume

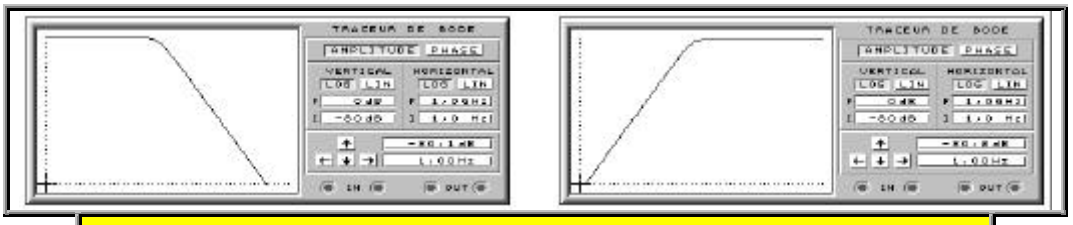
Nous retrouvons les montages de la page précédente, avec les cellules passe-haut et passe-bas, en fonction de la position des potentiomètres.

Filtre en pont de Wien

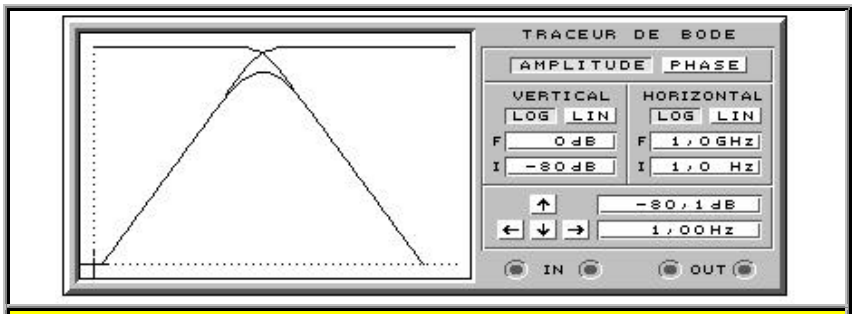
Ce filtre combine deux circuits R-C, montés en série et en parallèle comme le montre le schéma ci-dessous.



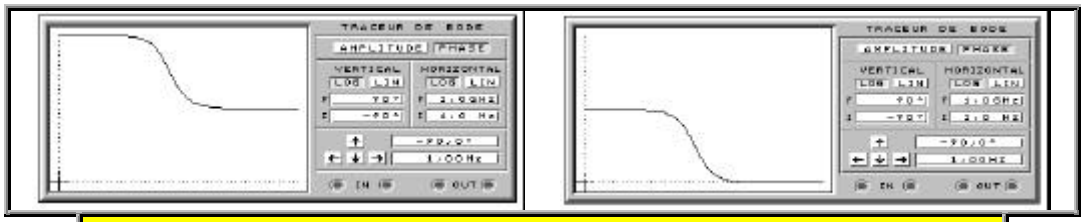
Le filtre en pont de Wien est composé de deux filtres R-C couplés. Une cellule est montée en filtre passe-haut et l'autre en filtre passe-bas. Il est intéressant d'étudier les bodes d'amplitude et de phase.



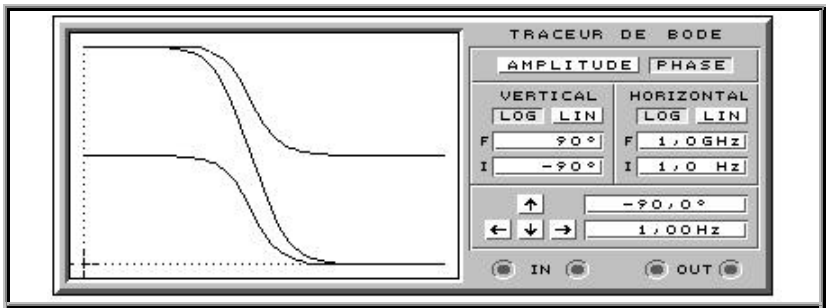
Bode d'amplitude de la cellule PH Bode d'amplitude de la cellule PB



Bode d'amplitude résultant du filtre



Bode de phase de la cellule PH Bode de phase de la cellule PB



Bode de phase résultant du filtre

La fréquence de coupure du filtre est pour un déphasage de 0 [°].
Ce filtre est également appelé réseau d'avance-retard en raison de la forme de son bode de phase.