

# Compte rendu de TP

TP n°5 : Quadripôles, filtres RC, CR, RL, LR et réponse  
fréquentielle

Réalisé par : Ayoub Saoudi  
Noam Hache

Encadré par : Brice Colombier

# Table des matières

<b>1</b>	<b>PRÉPARATION</b>	<b>3</b>
1.1	Définitions . . . . .	3
1.2	Filtre RC . . . . .	4
1.3	Filtre CR . . . . .	5
1.4	Filtre RL . . . . .	6
1.5	Fonctions de transfert et fréquences de coupures . . . . .	6
<b>2</b>	<b>APPRENTISSAGE</b>	<b>8</b>
2.1	Filtre RC . . . . .	8
2.2	Filtre CR . . . . .	9
2.3	Filtre RL . . . . .	10
2.4	Circuit correcteur « retard de phase » . . . . .	11

# 1 PRÉPARATION

## 1.1 Définitions

Un quadripôle est un circuit électrique ou un composant électrique qui est constitué de 4 bornes, 2 entrées et 2 sorties.

La réponse fréquentielle d'un circuit correspond à l'amplitude et la phase du signal de sortie en fonction de la fréquence d'entrée.

Le diagramme de Bode en gain est un diagramme semi-log avec en abscisse les fréquences et en ordonnées le gain en dB.

Le diagramme de Bode en phase est un diagramme similaire mais où l'ordonnée est la phase en degrés ou radians.

La fréquence de coupure est la fréquence à laquelle le circuit commence à atténuer le gain.

Une décade correspond à une unité horizontale d'un diagramme de Bode. Une décade est un écart de  $\times 10$  entre 2 valeurs.

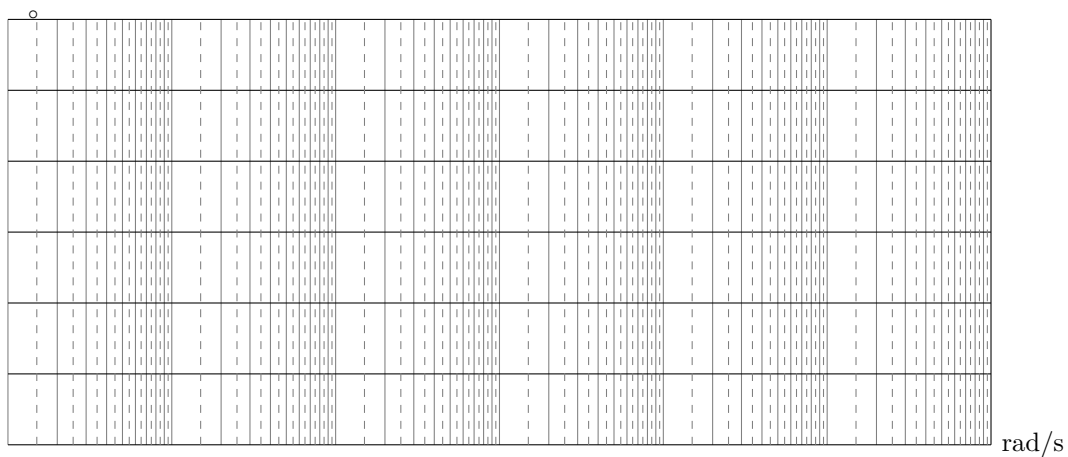
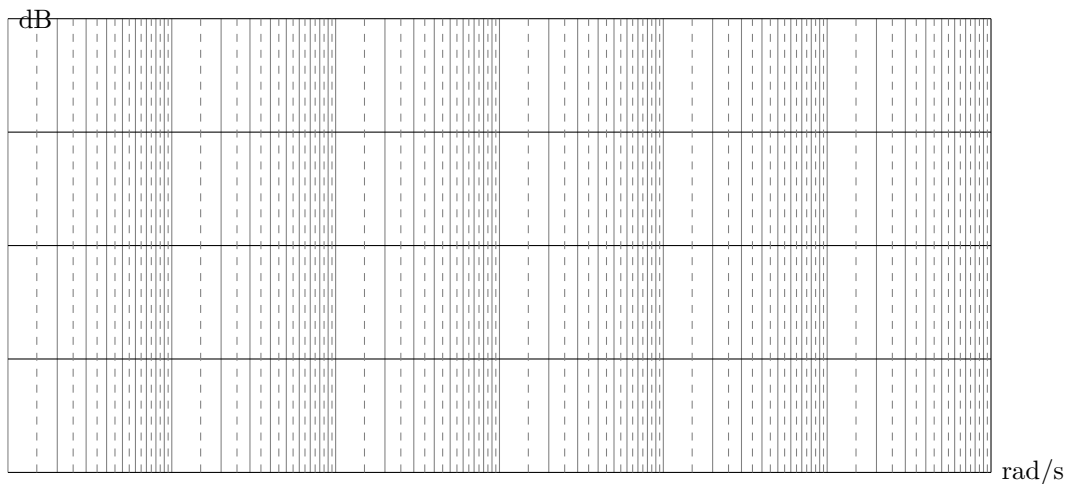
## 1.2 Filtre RC

Par analyse qualitative

$$\lim_{\omega \rightarrow +\infty} Z_C = \lim_{\omega \rightarrow +\infty} \frac{1}{jC\omega} = 0$$

$$\lim_{\omega \rightarrow 0} Z_C = \lim_{\omega \rightarrow +\infty} \frac{1}{jC\omega} = +\infty$$

Ainsi en hautes fréquences, on peut assimiler le condensateur à un fil. En basses fréquences, on peut l'assimiler à un circuit ouvert. De ce fait, dans le circuit RC, en hautes fréquences :  $V_s = 0$ , et en basses fréquences :  $V_s = V_e$ . On en déduit donc que le circuit est un filtre passe-haut.



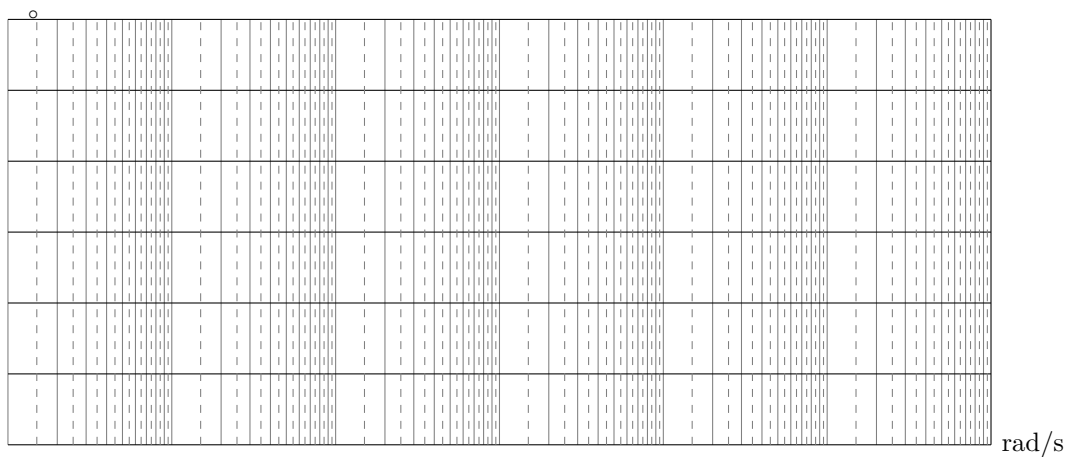
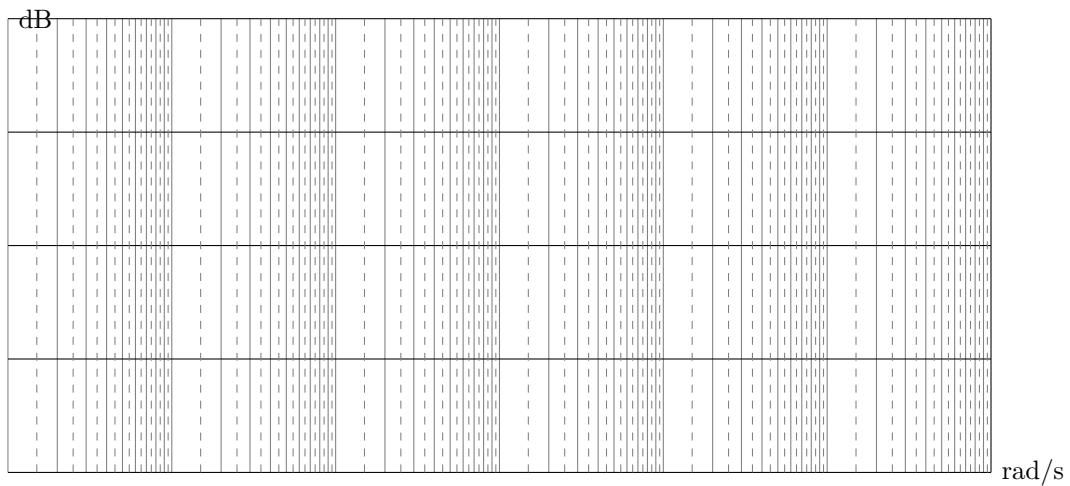
### 1.3 Filtre CR

Par analyse qualitative

$$\lim_{\omega \rightarrow +\infty} Z_C = \lim_{\omega \rightarrow +\infty} \frac{1}{jC\omega} = 0$$

$$\lim_{\omega \rightarrow 0} Z_C = \lim_{\omega \rightarrow +\infty} \frac{1}{jC\omega} = +\infty$$

Ainsi en hautes fréquences, on peut assimiler le condensateur à un fil. En basses fréquences, on peut l'assimiler à un circuit ouvert. De ce fait, dans le circuit CR, en hautes fréquences :  $V_s = V_e$ , et en basses fréquences :  $V_s = 0$ . On en déduit donc que le circuit est un filtre passe-haut.



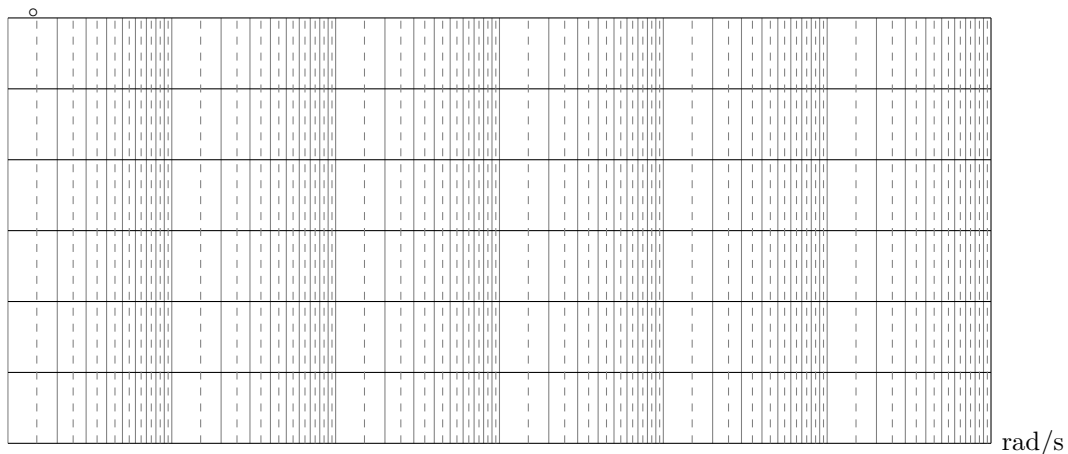
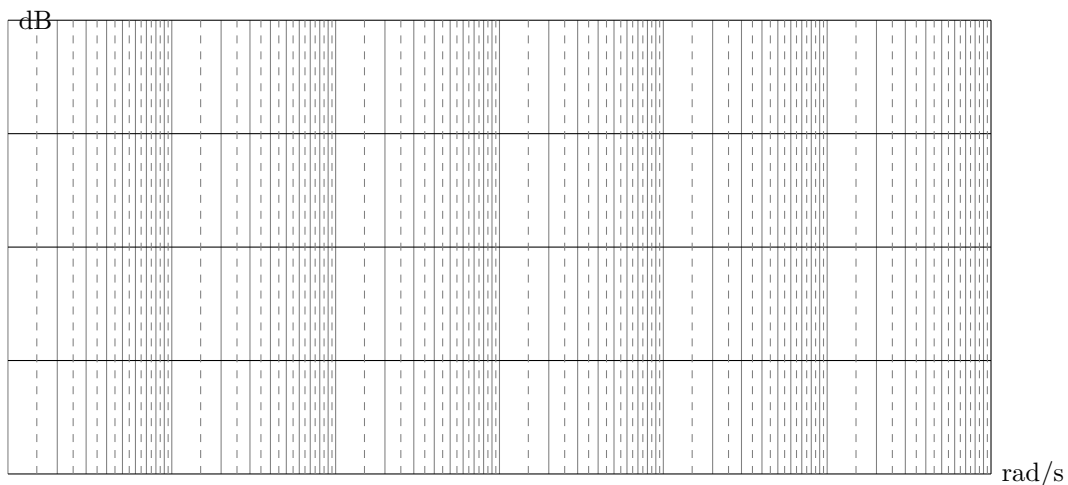
## 1.4 Filtre RL

Par analyse qualitative

$$\lim_{\omega \rightarrow +\infty} Z_L = \lim_{\omega \rightarrow +\infty} jL\omega = +\infty$$

$$\lim_{\omega \rightarrow 0} Z_L = \lim_{\omega \rightarrow +\infty} jL\omega = 0$$

Ainsi en hautes fréquences, on peut assimiler l'inductance à un circuit ouvert. En basses fréquences, on peut l'assimiler à un fil. De ce fait, dans le circuit RL, en hautes fréquences :  $V_s = V_e$ , et en basses fréquences :  $V_s = 0$ . On en déduit donc que le circuit est un filtre passe-haut.



## 1.5 Fonctions de transfert et fréquences de coupures

### 1.5.1 Filtre RC

On utilise le Pont Diviseur de Tension et l'analyse harmonique du circuit pour calculer la tension  $V_s$

$$V_s = V_e \times \frac{Z_C}{Z_R + Z_C} \iff \frac{V_s}{V_e} = \frac{\frac{1}{jC\omega}}{R + \frac{1}{jC\omega}} \iff \frac{V_s}{V_e} = \frac{1}{1 + jRC\omega}$$

$$20 \log \left| \frac{V_s}{V_e} \right| = 20 \log \left| \frac{1}{1 + j\tau\omega} \right|, \text{ avec } \tau = RC$$

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

### 1.5.2 Filtre CR

On utilise le Pont Diviseur de Tension et l'analyse harmonique du circuit pour calculer la tension  $V_s$

$$V_s = V_e \times \frac{Z_R}{Z_R + Z_C} \iff \frac{V_s}{V_e} = \frac{R}{R + \frac{1}{jC\omega}} \iff \frac{V_s}{V_e} = jRC\omega \frac{1}{1 + jRC\omega}$$

$$20 \log \left| \frac{V_s}{V_e} \right| = 20 \log |j\tau\omega| + 20 \log \left| \frac{1}{1 + j\tau\omega} \right|, \text{ avec } \tau = RC$$

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

### 1.5.3 Filtre RL

On utilise le Pont Diviseur de Tension et l'analyse harmonique du circuit pour calculer la tension  $V_s$

$$V_s = V_e \times \frac{Z_L}{Z_R + Z_L} \iff \frac{V_s}{V_e} = \frac{jL\omega}{R + jL\omega} \iff \frac{V_s}{V_e} = \frac{j\frac{L}{R}\omega}{1 + j\frac{L}{R}\omega} \iff \frac{V_s}{V_e} = j\frac{L}{R}\omega \times \frac{1}{1 + j\frac{L}{R}\omega}$$

$$20 \log \left| \frac{V_s}{V_e} \right| = 20 \log |j\tau\omega| + 20 \log \left| \frac{1}{1 + j\tau\omega} \right|, \text{ avec } \tau = \frac{L}{R}$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi\tau} \iff f_c = \frac{R}{2\pi L}$$

## 2 APPRENTISSAGE

### Informations

- Pour chaque circuit et chaque mesure effectuée,  $V_e = 14.14V$ .
- Pour le circuit n°3, l'inductance utilisée sera une inductance de 10 mH.

### 2.1 Filtre RC

#### 2.1.1

Fréquence (Hz)	$V_e$ (V)	$V_s$ (V)	Gain = $20 \cdot \log\left(\frac{V_s}{V_e}\right)$	Phase (°)
100	14,2	14	-0,123206174096369	-7,92
400	14,2	13,6	-0,37498872025678	-15
500	14,2	13,4	-0,503670920364977	-18
800	14,2	12,6	-1,03835598530987	-26,5
1000	14,2	12	-1,46214196670863	-31,7
1600	14,2	10	-3,04576688766113	-43,8
2000	14,2	8,88	-4,07750757208911	-50
3000	14,3	6,72	-6,55933528822473	-60,5
4000	14,3	5,36	-8,52342495544584	-66,2
5000	14,3	4,4	-10,2376672195775	-70
10000	14,3	2,32	-15,7969610514832	-79
100000	14,2	0,32	-32,942767321263	-87

#### 2.1.2

Voir Figure 1

#### 2.1.3

$$f_{c_{exp}} = 1.6\text{kHz}$$

$$f_{c_{th}} = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \times 10 \times 10^3 \times 10 \times 10^{-9}} = 1.591\text{kHz}$$

On trouve une fréquence expérimentale  $f_{c_{exp}}$  dans une marge d'erreur de 0.1% par rapport à la valeur théorique, donc la valeur expérimentale est cohérente avec les calculs.

#### 2.1.4

On observe que les basses fréquences ont un gain négatif moins fort, et les hautes fréquences ont un gain négatif très fort. On en déduit que c'est un filtre passe-bas.

## 2.2 Filtre CR

### 2.2.1

Fréquence (Hz)	$V_e$ (V)	$V_s$ (V)	Gain = $20 \cdot \log(\frac{V_s}{V_e})$	Phase (°)
100	14.2	0.92	-23.77001034075	82.8
400	14.2	3.44	-12.3145980362305	75.5
500	14.2	4.20	-10.5807810797031	70.6
800	14.2	6.24	-7.14207509401265	62.8
1000	14.2	7.36	-5.70821060091115	57.6
1600	14.2	10.00	-3.04576688766113	44.9
2000	14.2	10.8	-2.37729177792213	38.9
3000	14.2	12.4	-1.17733318441643	29.4
4000	14.2	13.2	-0.634288263544132	21.3
5000	14.2	13.6	-0.37498872025678	16.6
10000	14.2	14.0	-0.123206174096369	8.64
100000	14.2	14.0	-0.123206174096369	0.00

### 2.2.2

Voir Figure 2

### 2.2.3

$$f_{c_{exp}} = 1.6\text{kHz}$$

$$f_{c_{th}} = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \times 10 \times 10^3 \times 10 \times 10^{-9}} = 1.591\text{kHz}$$

On trouve une fréquence expérimentale  $f_{c_{exp}}$  dans une marge d'erreur de 0.1% par rapport à la valeur théorique, donc la valeur expérimentale est cohérente avec les calculs.

### 2.2.4

On observe que les basses fréquences ont un gain négatif très fort, et les hautes fréquences ont un gain négatif très faible. On en déduit que c'est un filtre passe-haut.

## 2.3 Filtre RL

### 2.3.1

Fréquence (kHz)	$V_e$ (V)	$V_s$ (V)	Gain = $20 \cdot \log\left(\frac{V_s}{V_e}\right)$	Phase (°)
100	13.5	0.28	-33.6635147430557	12.2
1000	13.6	0.848	-24.1028611222701	68.0
8000	13.6	5.92	-7.22434403294596	61.6
9000	13.6	6.56	-6.33270137989114	59.0
10000	13.8	7.12	-5.7479818552876	56.9
17400	14.0	10.0	-2.92256071356476	41.9
20000	14.0	10.7	-2.33488515986057	38.2
30000	14.0	12.2	-1.1953641000698	27.6
50000	14.0	13.4	-0.380464746268607	15.8
100000	14.0	13.9	-0.0622647084828585	4.75

### 2.3.2

Voir Figure 3

### 2.3.3

$$f_{c_{exp}} = 17400\text{kHz}$$

$$f_{c_{th}} = \frac{R}{2\pi L} = \frac{10^3}{2\pi \times 10 \times 10^{-3}} = 15915\text{kHz}$$

On trouve une fréquence expérimentale  $f_{c_{exp}}$  dans une marge d'erreur de 10% par rapport à la valeur théorique. Cet écart s'explique par la qualité des instruments de mesures utilisés et par la qualité des composants du circuit. Néanmoins avec cet écart on trouve une valeur expérimentale qui n'est pas incohérente avec les autres mesures faites.

### 2.3.4

On observe que les basses fréquences ont un gain négatif très fort, et les hautes fréquences ont un gain négatif très faible. On en déduit que c'est un filtre passe-haut.

## 2.4 Circuit correcteur « retard de phase »

### 2.4.1

$$\underline{Z}_1 = Z_{R_1} = R_1$$

$$\underline{Z}_2 = Z_{R_2} + Z_{C_1} = R_2 + \frac{1}{jC_1\omega}$$

$$V_s = V_e \times \frac{R_2 + \frac{1}{jC_1\omega}}{R_1 + R_2 + \frac{1}{jC_1\omega}} \iff V_s = V_e \times \frac{1 + jR_2C_1\omega}{1 + jR_1C_1\omega + jR_2C_1\omega}$$

$$V_s = V_e \times \frac{1 + jR_2C_1\omega}{1 + j(R_1 + R_2)C_1\omega}, \text{ avec } \tau_1 = R_2C_1 \text{ et } \tau_2 = (R_1 + R_2)C_1$$

$$\tau = \frac{1}{\omega}$$

$$V_s = V_e \times \frac{1 + j\tau_1\omega}{1 + j\tau_2\omega} \iff V_s = V_e \times \frac{1 + j\frac{\omega}{\omega_1}}{1 + j\frac{\omega}{\omega_2}}$$

$$\frac{V_s}{V_e} = \frac{1 + j\frac{\omega}{\omega_1}}{1 + j\frac{\omega}{\omega_2}} \iff \underline{H} = \frac{1 + j\frac{\omega}{\omega_1}}{1 + j\frac{\omega}{\omega_2}}$$

$$20 \log |H| = 20 \log \left| 1 + j \frac{\omega}{\omega_1} \right| + 20 \log \left| \frac{1}{1 + j \frac{\omega}{\omega_2}} \right|$$

### 2.4.2

Fréquence (Hz)	$V_e$ (V)	$V_s$ (V)	Gain = $20 \cdot \log \left( \frac{V_s}{V_e} \right)$	Phase (°)
100	14.2	14.0	-0.123206174096369	-7.92
500	14.2	13.2	-0.634288263544132	-18.0
800	14.2	12.2	-1.31857027416616	-26.0
1000	14.2	11.5	-1.8318100805889	-31.0
1440	14.2	10.0	-3.04576688766113	-39.8
2000	14.2	8.24	-4.72722265371881	-46.0
3000	14.2	6.28	-7.08657401291721	-52.5
4000	14.2	5.0	-9.06636680094075	-55.3
10000	14.2	2.5	-15.0869667142204	-50.0
13900	14.2	2.0	-17.0251669743815	-42.5
100000	14.2	1.32	-20.6342882635441	-11.2

Voir Figure 4

### 2.4.3

On observe que les basses fréquences ont un gain négatif moins fort, et les hautes fréquences ont un gain négatif très fort. On en déduit que c'est un filtre passe-bas.

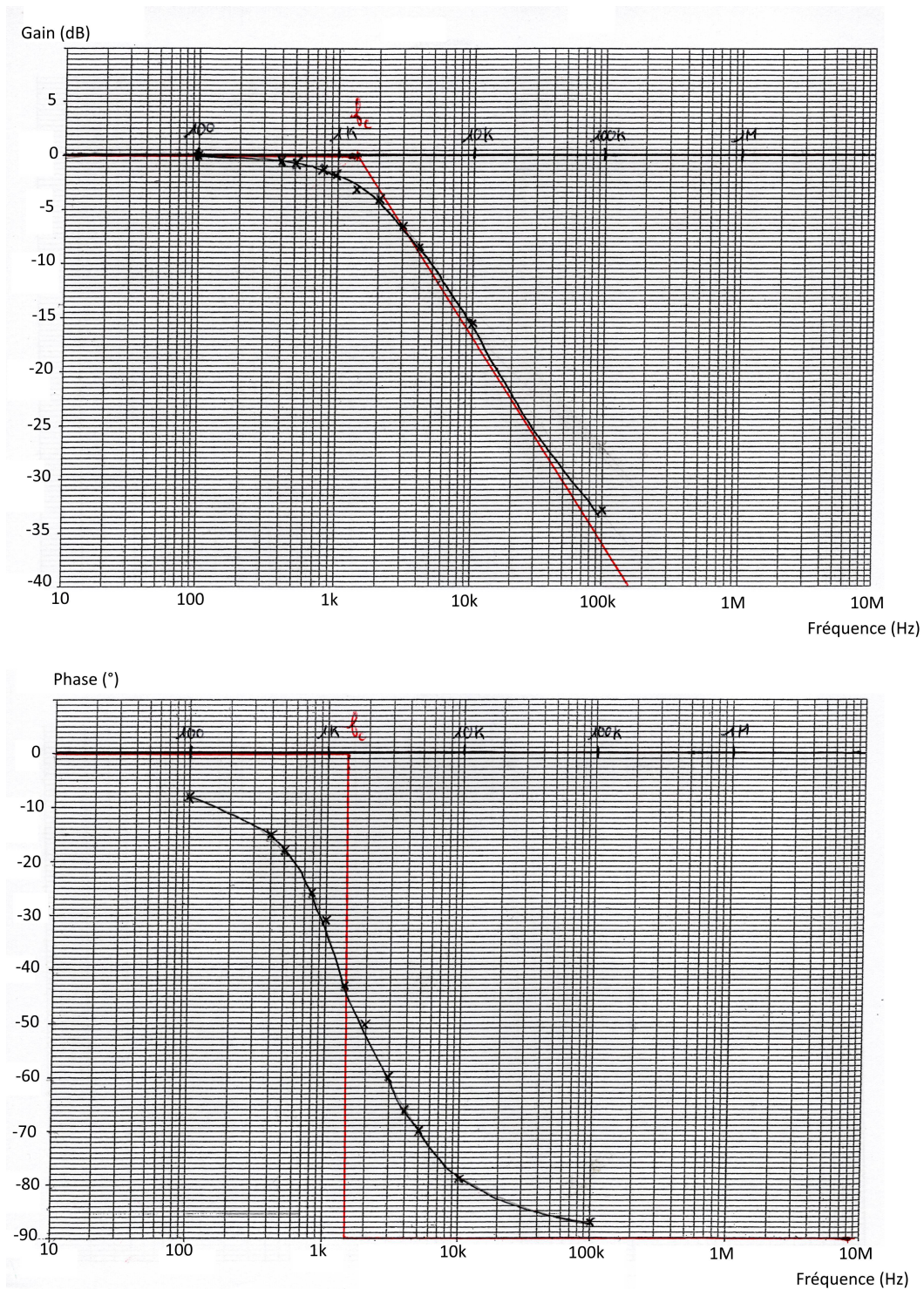


FIGURE 1 – Diagramme de Bode en Gain et en Phase d'un circuit RC.

(Gain) En Rouge : l'asymptote du gain de la fonction  $\frac{1}{1+jRC\omega}$ .

(Gain) En Noir : le tracé des mesures.

(Phase) En Rouge : l'asymptote de la phase de la fonction.

(Phase) En Noir : le tracé des mesures

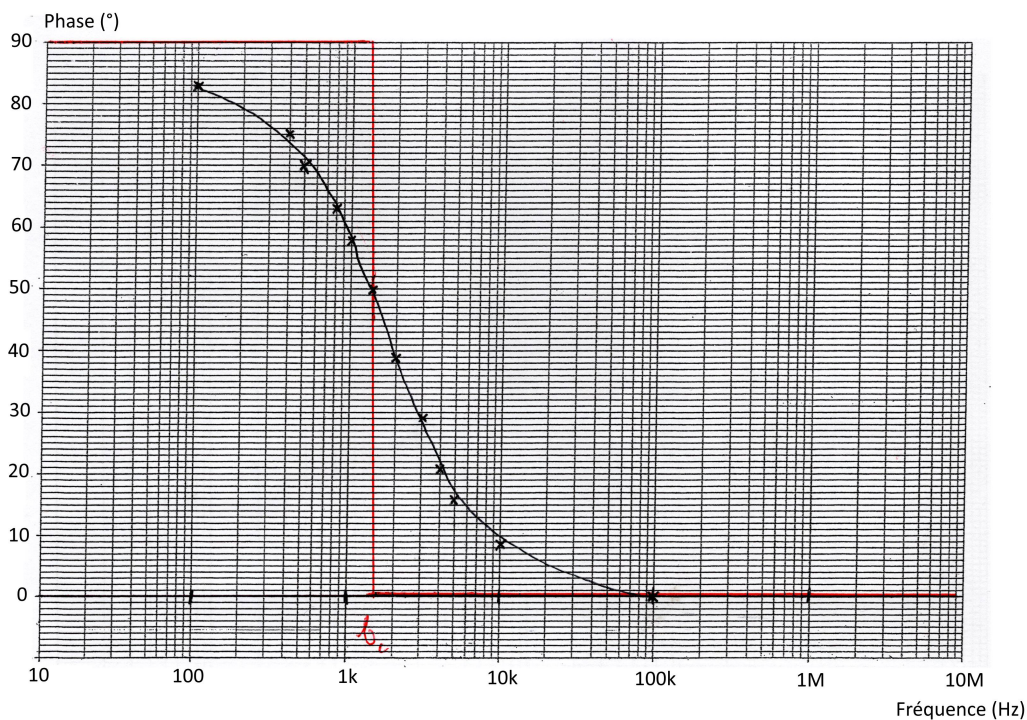
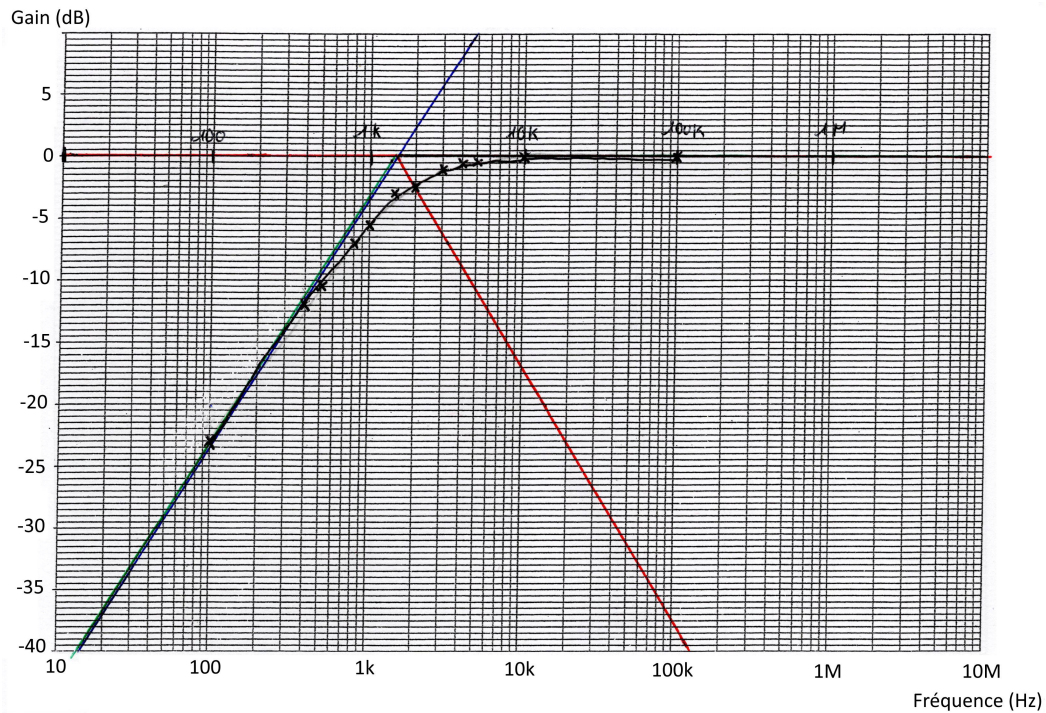


FIGURE 2 – Diagramme de Bode en Gain et en Phase d'un circuit CR

(Gain) En Rouge : l'asymptote du gain de la fonction  $\frac{1}{1+j\tau\omega}$ .

(Gain) En Bleu : l'asymptote du gain de la fonction  $j\tau\omega$ .

(Gain) En Vert : l'asymptote de la somme des fonctions. (Gain) En Noir : le tracé des mesures.

(Phase) En Rouge : l'asymptote de la phase de la fonction.

(Phase) En Noir : le tracé des mesures

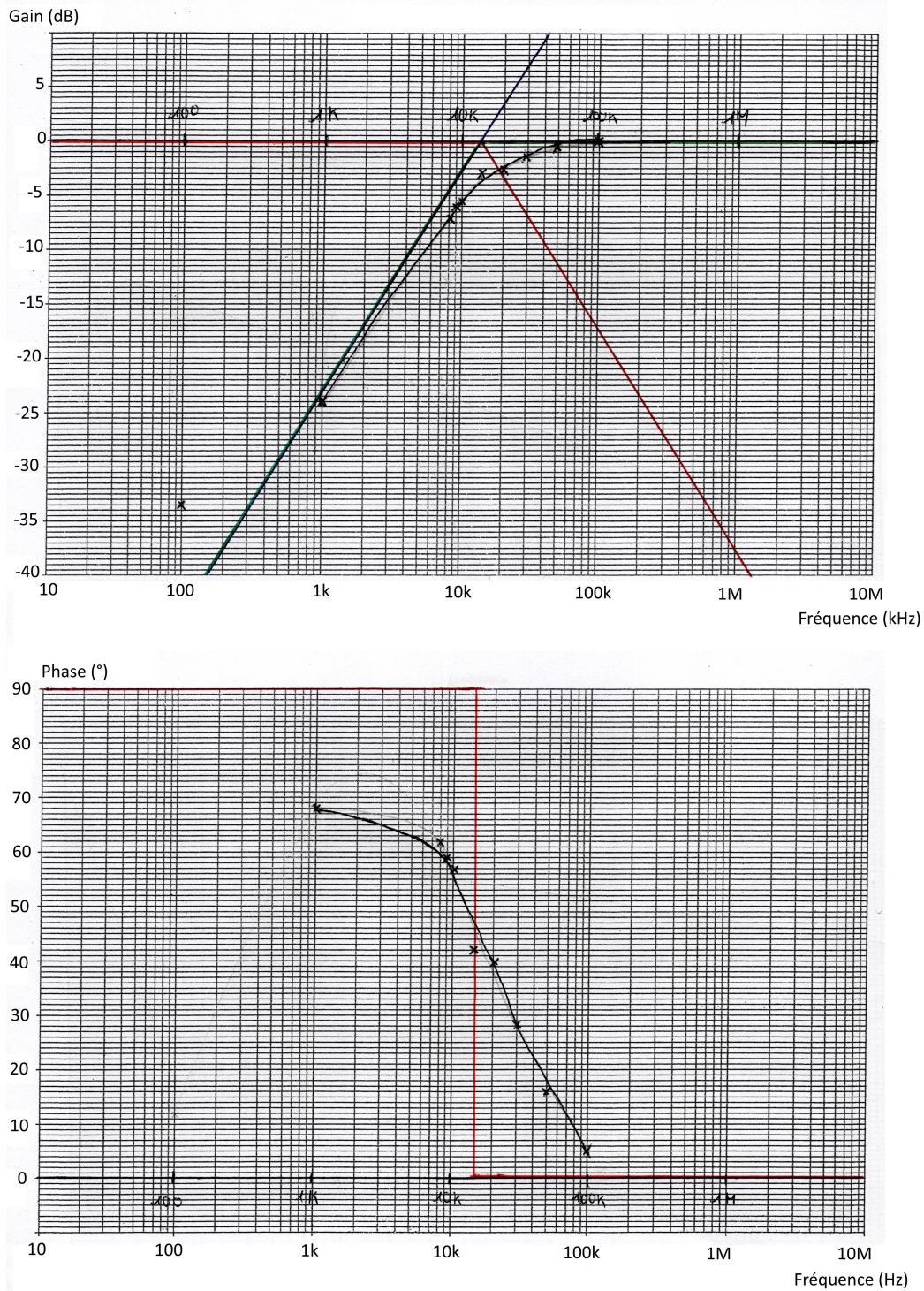


FIGURE 3 – Diagramme de Bode en Gain et en Phase d'un circuit RL

(Gain) En Rouge : l'asymptote du gain de la fonction  $\frac{1}{1+j\tau\omega}$ .

(Gain) En Bleu : l'asymptote du gain de la fonction  $j\tau\omega$ .

(Gain) En Vert : l'asymptote de la somme des fonctions. (Gain) En Noir : le tracé des mesures.

(Phase) En Rouge : l'asymptote de la phase de la fonction.

(Phase) En Noir : le tracé des mesures

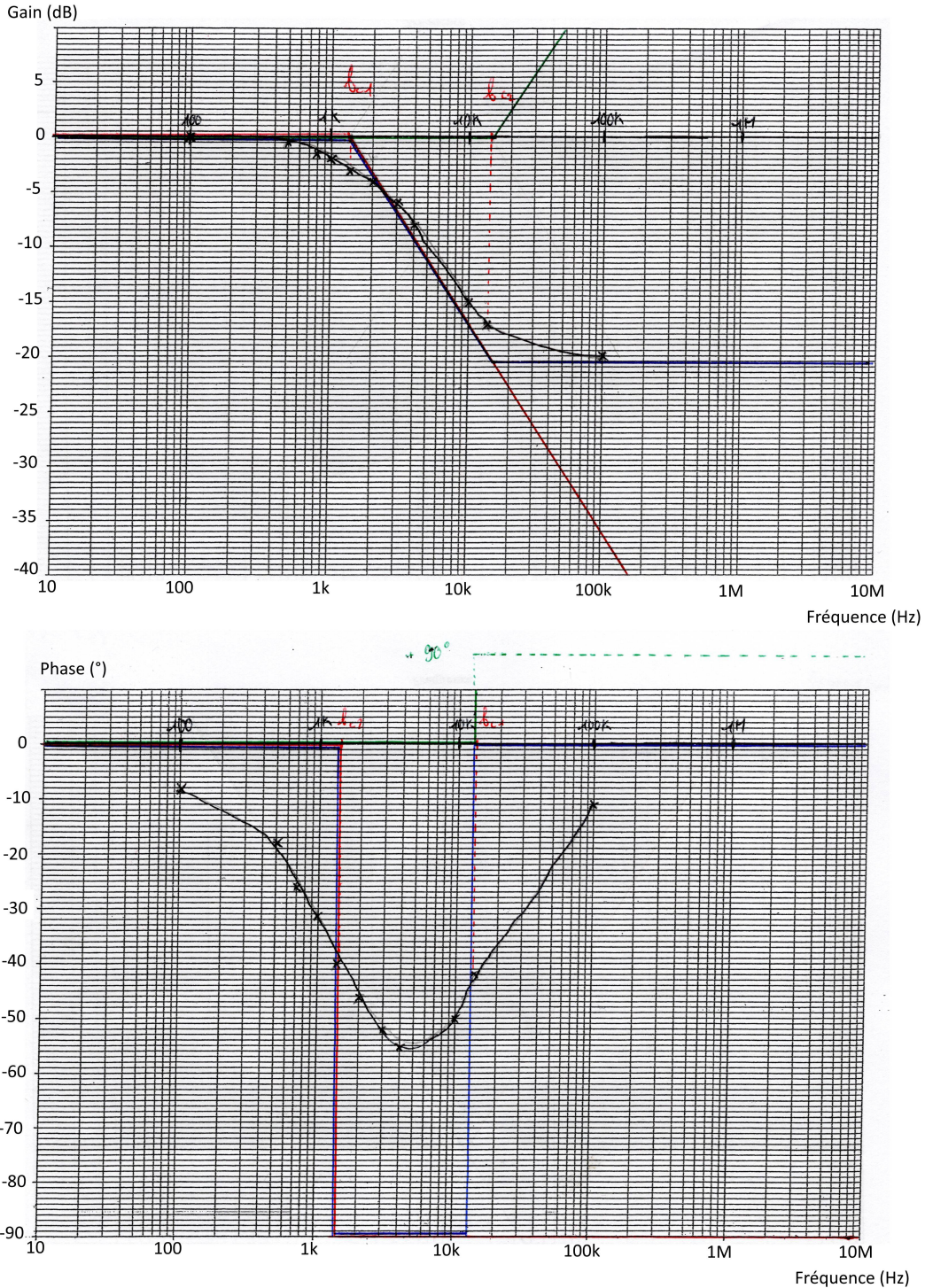


FIGURE 4 – Diagramme de Bode en Gain et en Phase d'un circuit RCR

(Gain) En Rouge : l'asymptote du gain de la fonction  $\frac{1}{1+j\frac{\omega}{\omega_2}}$ .

(Gain) En Vert : l'asymptote du gain de la fonction  $1+j\frac{\omega}{\omega_1}$ .

(Gain) En Bleu : l'asymptote de la somme des fonctions.

(Gain) En Noir : le tracé des mesures.

(Phase) En Rouge : l'asymptote de la phase de la fonction  $\frac{1}{1+j\frac{\omega}{\omega_2}}$ .

(Phase) En Vert : l'asymptote de la phase de la fonction  $1+j\frac{\omega}{\omega_1}$ .

(Phase) En Bleu : l'asymptote de la somme des fonctions.

(Phase) En Noir : le tracé des mesures