

# Laboratoire 4

## Analyse fréquentielle des circuits passifs

---

### Objectifs pédagogiques

À la fin de cette expérience, vous devriez :

- Maîtriser le comportement des circuits RC, RL et RLC dans le domaine fréquentiel,
- Comprendre la notion de la fonction de transfert d'un système linéaire,
- Comprendre et tracer la réponse en fréquence d'un système (traçage du diagramme de Bode en amplitude et en phase),
- Comprendre le phénomène de résonance des circuits RLC (série et parallèle),
- Comprendre les composants parasites des éléments passifs dynamiques (bobine et condensateur),
- Être en mesure de concevoir et d'implémenter des filtres passifs du premier et du deuxième ordre (RC, RL et RLC).

### Contenu

- Expérience 4
  - Préparation avant d'arriver au laboratoire,
  - Manipulations au laboratoire émulées,
- Rédaction du rapport de l'expérience 4 et barème.
- Théories préliminaires sur l'analyse des circuits électriques RC, RL et RLC dans le domaine fréquentiel,
- Notion de composants parasites des composants passifs dynamiques
- Notion de résonance dans les circuits RLC,
- Sommaire des formules importantes,
- Questions et exercices de révision.

## Expérience 4

### 4.1.1 Préparation avant d'arriver au laboratoire

L'expérience 4 consiste à concevoir, à réaliser et à expérimenter des filtres passe-bas, passe-haut, passe-bande et coupe bande passifs (analyse du comportement pratique des circuits RC, RL et RLC dans le domaine fréquentiel).

Groupe de laboratoire: 1

Équipe N : 9

Étudiant(e) 1 : Martin Careau Matricule : 1978446

Étudiant(e) 2 : Alexandre Gauthier Matricule : 2020329

Signature étudiant 1 : \_\_\_\_\_ Signature étudiant 1 : \_\_\_\_\_

#### **Note :**

1. La préparation compte pour 4 points.
2. Pour tracer les formes d'onde, effectuez des simulations en utilisant le logiciel CADENCE PSD ou PSpice (les formes d'ondes relevées à la main seront refusées).

#### 4.1.1.1 Analyse des circuits du premier ordre

##### a) filtre passe-bas RC du premier ordre

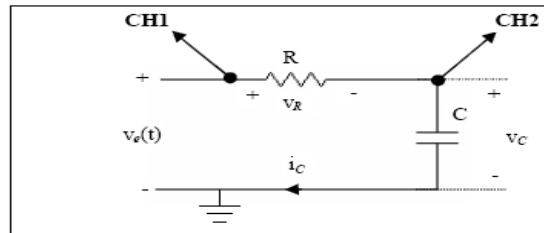


Figure 4.1: filtre passe-bas RC.

Pour le filtre passe-bas de la figure 4.1, en prenant  $C=0.01 \mu\text{F}$ ,

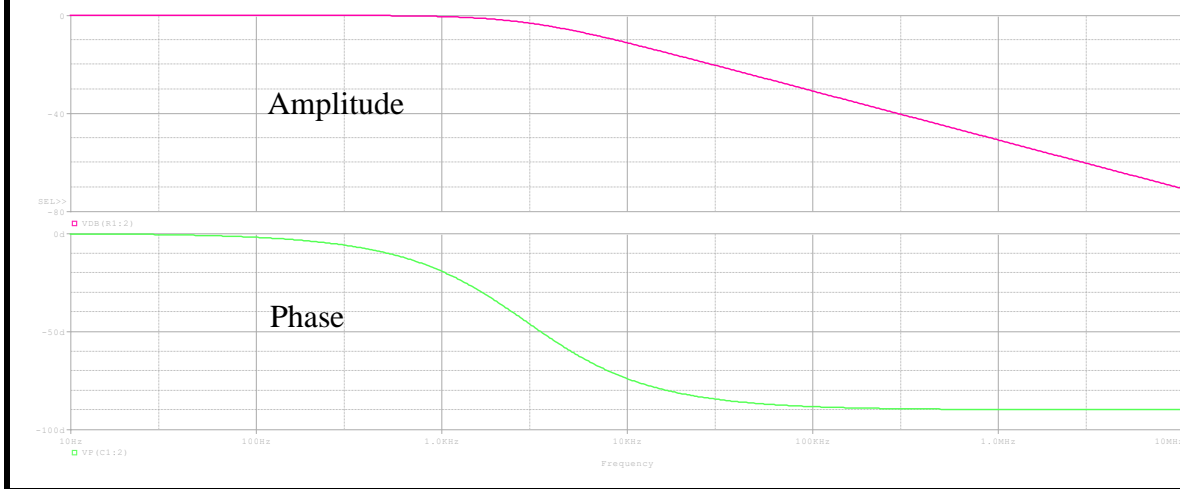
- Déterminer la valeur de la résistance  $R$  pour avoir une fréquence de coupure  $f_c$  égale à  $(318.30 \text{ fois } N) \text{ Hz}$  où  $N$  est le numéro de la table de l'étudiant.

*Valeur de la résistance  $R$*

$$\omega_c = 2\pi f_c = 2\pi \times 318.30 \times 9 = 18k \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$
$$\omega_c = \frac{1}{RC} \rightarrow R = \frac{1}{\omega_c C} = \frac{1}{18k \times 0.01 \times 10^{-6}} = 5555.56\Omega$$

- En prenant  $v_C(t)$  comme sortie, donner la réponse en fréquence du filtre passe-bas (diagramme de Bode, amplitude et phase) en utilisant le logiciel Cadence PSD ou PSPICE (section 1.2.4),

Diagramme de Bode, *amplitude* et *phase*



**b) Filtre passe-haut RL du premier ordre**

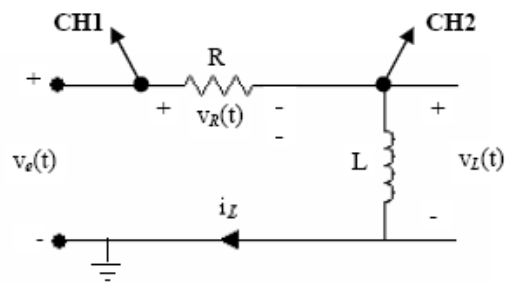


Figure 4.2: Filtre passe-haut RL.

Pour le filtre passe-haut de la figure 4.2, en prenant  $L=100$  mH,

- déterminer la valeur de la résistance  $R$  pour avoir une fréquence de coupure  $f_c$  égale à  $(1591.55 \text{ fois } N) \text{ Hz}$  où  $N$  est le numéro de la table de l'étudiant.

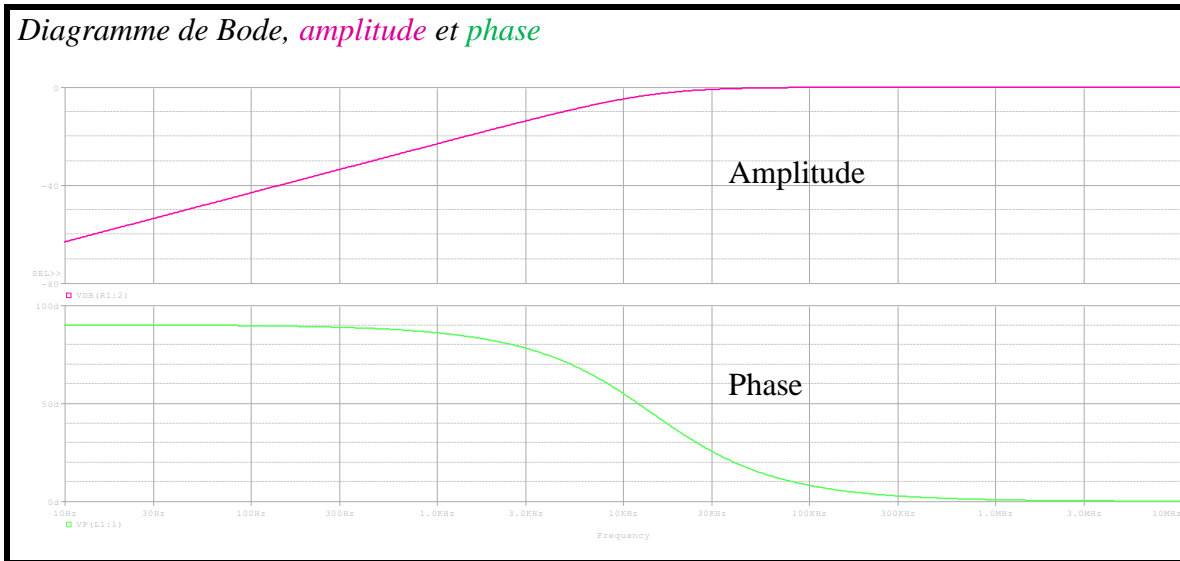
Valeur de la résistance  $R$

$$f_c = 1591.55 \times 9 = 14323.95 \text{ Hz}$$

$$\omega_c = 2\pi f_c = 90k \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\omega_c = \frac{R}{L} \rightarrow R = L \times \omega_c = 0.1 \times 90000 = 9000 \Omega$$

- En prenant  $v_L(t)$  comme sortie, donner la réponse en fréquence du filtre passe-haut (diagramme de Bode, amplitude et phase) en utilisant le logiciel PSPICE (section 1.2.4),



#### 4.1.1.2 Analyse des circuits du 2<sup>ème</sup> ordre

**Note :** les réponses en fréquence d'inductances et de facteurs de qualité des bobines réelles de 50 mH et de 150 mH sont données aux figures 4.4 et 4.5, respectivement (modèle MQE-TF4RX20YY). Ces réponses sont obtenues à partir du pont d'impédances HP4192A.

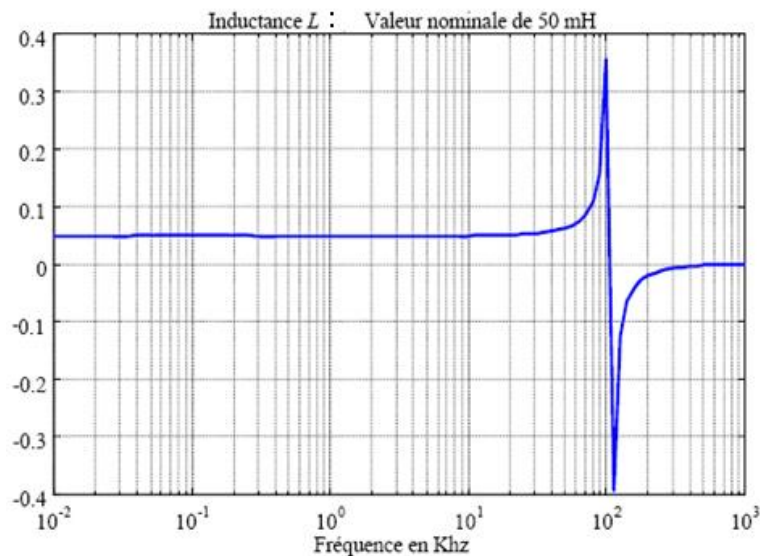


Figure 4.4.1: Inductance  $L$  en fonction de la fréquence.

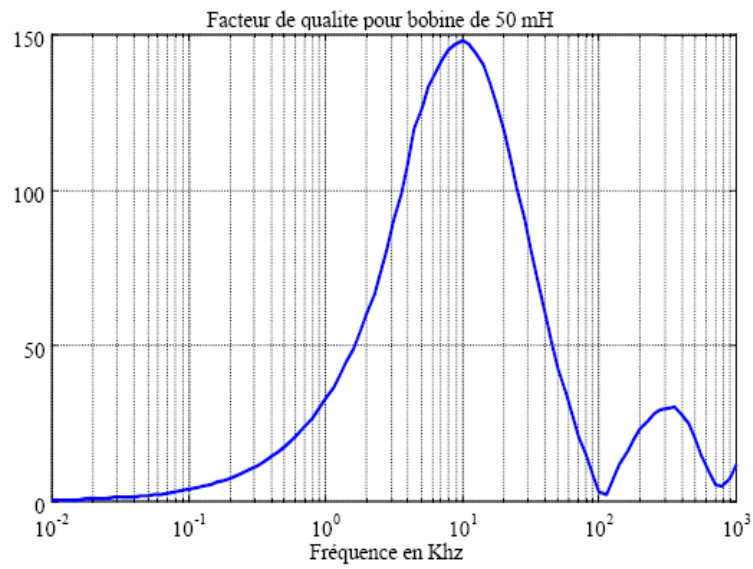


Figure 4.4.2: Facteur de qualite  $Q_b$  en fonction de la fréquence..

Figure 4.4 : Réponses en fréquence expérimentales ( $L$  et  $Q_b$ ) d'une bobine de 50 mH.

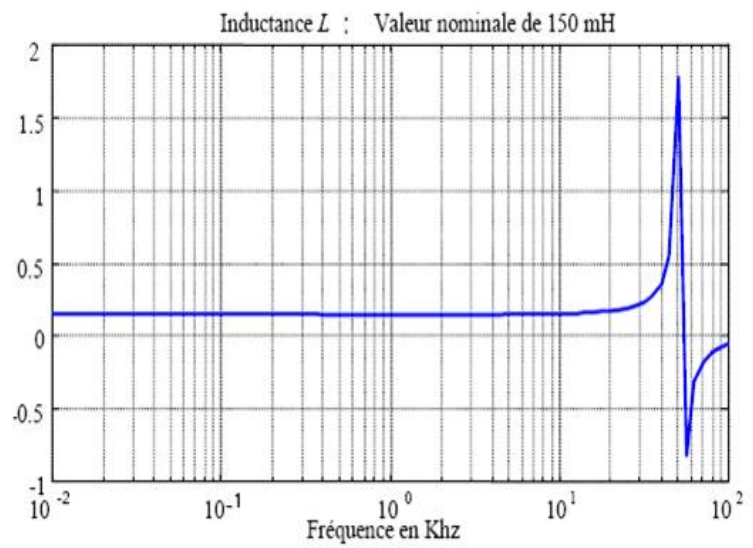


Figure 4.5.1: Inductance  $L$  en fonction de la fréquence.

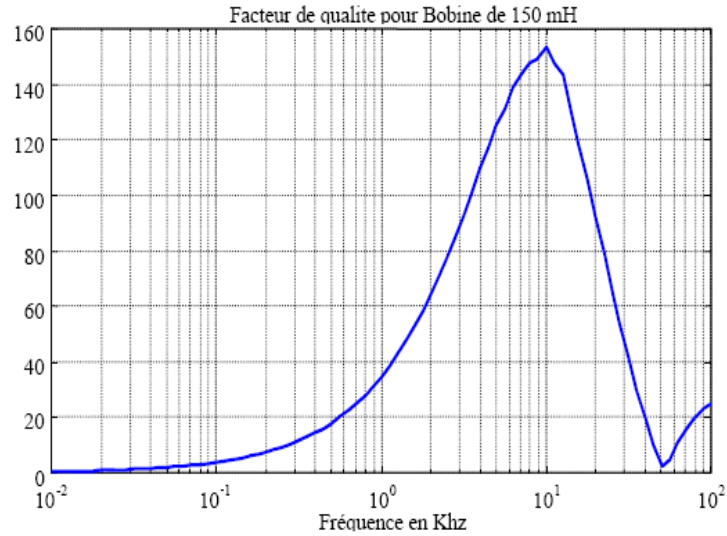


Figure 4.5.2: Facteur de qualité  $Q_b$  en fonction de la fréquence.

Figure 4.5: Réponses en fréquence expérimentales ( $L$  et  $Q_b$ ) d'une bobine de 150 mH.

**Remarques :**

- À partir d'une certaine fréquence  $f_{Lqmax} = (\omega_{Lqmax} / 2\pi)$  largement inférieure à la fréquence de résonance propre de la bobine, le facteur de qualité passe par une valeur maximale, puis commence à se détériorer et la variation de l'inductance  $L$  en fonction de la fréquence devient de plus en plus importante,
- Le facteur de qualité d'une bobine (modèle  $LR_L$  série) à une fréquence angulaire  $\omega$  est défini par :

$$Q_b = \frac{\omega L}{R_L} \quad (R_L \text{ représente la résistance interne de la bobine}).$$

a) Filtre passe-bande RLC série (modèle idéal pour le condensateur et modèle réel simplifié pour la bobine)

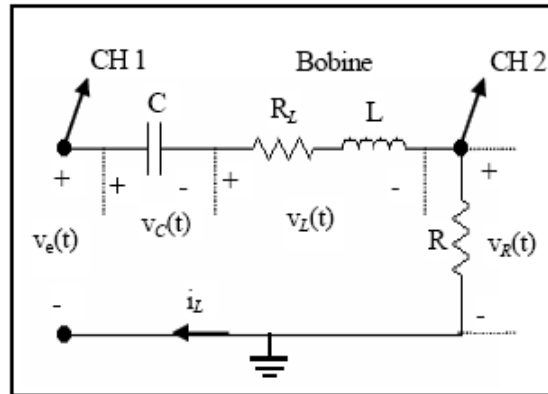


Figure 4.6 : circuit RLC série

Pour le filtre passe-bande de la figure 4.6, la fréquence centrale ( $f_0$ ) et la largeur de bande ( $\Delta f$ ) désirées sont données par  $f_0 = 3500 + 20N$  et  $\Delta f = f_{c2} - f_{c1} = 900 - 20N$ , N désignant le numéro de la table de l'étudiant.

- En prenant une bobine de 150 mH, relever le facteur de qualité de la bobine  $Q_b$  (figure 4.5.2) et déterminer la résistance interne  $R_L$  de la bobine à la fréquence centrale du filtre passe-bande  $f_0$ ,

Résistance interne  $R_L$

$$f_0 = 3500 + 20 \times 9 = 3680 \text{ Hz}$$

$$\omega_0 = 2\pi f = 2\pi \times 3680 = 23122 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\Delta f = f_{c2} - f_{c1} = 900 - 20 \times 9 = 720 \text{ Hz}$$

$$Q = 100 = \frac{\omega_0 L}{R_L} \rightarrow R_L = \frac{\omega_0 L}{Q} = \frac{23122 \times 0.15}{100} = 34.7 \Omega$$

- Déterminer les valeurs de la capacité **C** et de la résistance **R** à ajouter dans le circuit (en tenant compte de la résistance interne de la bobine) pour respecter les spécifications du filtre en termes de fréquence centrale et de largeur de bande,



Valeurs de la capacité  $C$  et de la résistance  $R$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \rightarrow C = \frac{1}{\omega_0^2 L} = \frac{1}{23122^2 \times 0.15} = 12.5 \text{ nF}$$

$$Q_{RLC_{\text{serie}}} = \frac{\omega_0 L}{R + R_L} = \frac{f_0}{\Delta f}$$

$$R = \frac{\omega_0 L \times \Delta f}{f_0} - R_L = \frac{23122 \times 0.15 \times 720}{3680} - 34.7 = 643.9 \Omega$$

**Note :**

• La fréquence angulaire de résonance ( $\omega_0$ ) et le facteur de qualité du circuit RLC série ( $Q_{\text{série}}$ ) à la résonance sont donnés par :

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \text{et} \quad Q_{\text{série}} = \frac{\omega_0 L}{(R_T)} = \frac{f_0}{\Delta f} \quad \text{où} \quad R_T = R + R_L,$$

- la résistance  $R$  utilisée tolère une puissance maximale de 1/4 watt,
- la bobine utilisée est limitée en courant ( $i_{L_{\text{max}}} = 100 \text{ mA}$ ) et en puissance ( $P_{L_{\text{max}}} = 0.5 \text{ watt}$ ).
- Déterminer l'amplitude maximale de la source  $v_e(t)$  pour éviter l'endommagement de la résistance et de la bobine (la résistance et la bobine peuvent supporter une puissance de 1/4 de watt et un courant de 100 mA, respectivement). **Nous vous référons au document complémentaire du TP4.**

Amplitude maximale de la source  $v_e(t)$

$$V_{e1} = I_{max} \times (R + R_L) = 0.1 \times (643.9 + 34.7) = 67.86V$$

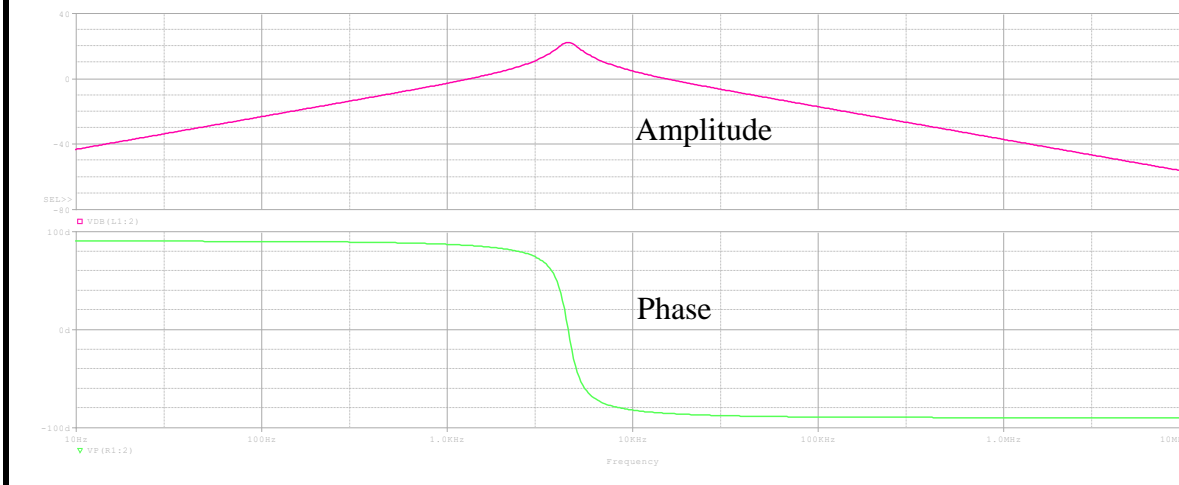
$$V_{e2} = \sqrt{\frac{P_{Lmax} \times (R + R_L)^2}{R_L}} = \sqrt{\frac{0.5 \times (643.9 + 34.7)^2}{34.7}} = 81.5V$$

$$V_{e3} = \sqrt{\frac{P_{Rmax} \times (R + R_L)^2}{R}} = \sqrt{\frac{0.25 \times (643.9 + 34.7)^2}{643.9}} = 13.4V$$

Nous devons prendre la tension la plus basse calculée qui est 13.4V.

- En prenant  $v_R(t)$  comme sortie, donner la réponse en fréquence du filtre passe-bande (diagramme de Bode, amplitude et phase) en utilisant le logiciel Cadence PSD ou PSPICE (section 1.2.4),

Diagramme de Bode, *amplitude* et *phase*



- Déterminer le gain et la phase (déphasage entre la sortie et l'entrée) du filtre à la fréquence centrale  $f_0$ .

Gain et phase à  $f_0$

$$f_0 = 3500 + 20 \times 9 = 3680 \text{ Hz} \rightarrow \omega_0 = 2\pi f = 2\pi \times 3680 = 23122 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\text{gain} = |H(j \times 23122)| = -0.39 \text{ dB}$$

$$\text{phase} = \angle H(j \times 23122) = 0.55 \text{ deg}$$

b) Filtre coupe bande RLC parallèle (modèle idéal pour le condensateur et modèle réel simplifié pour la bobine)

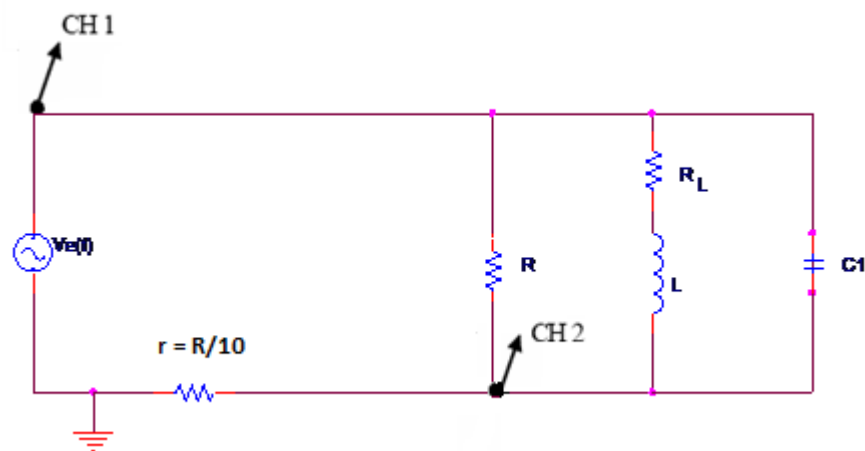


Figure 4.7 : Circuit RLC parallèle.

Les spécifications du filtre coupe bande (fréquence centrale  $f_0$  et bande d'arrêt  $\Delta f$ ) de la figure 4.7 sont données au tableau 4.1.

	Circuit RLC parallèle		
No. de table	$f_0$ en Hz	$\Delta f$ (Hz)	L (mH)
1 et 20	3500	140	200
2 et 19	4000	160	300
3 et 18	5000	250	200
4 et 17	4000	133.33	300
5 et 16	3500	175	200
6 et 15	4000	175	200
7 et 14	4500	200	300
8 et 13	5000	250	200
9 et 12	4500	200	300
10 et 11	3500	175	200

*Tableau 4.1 : Spécifications des valeurs pour différentes tables de travail.*

**Notes :**

- La résistance  $r \ll R$  (prendre :  $r = R/10$ ) doit être considérée lors du calcul du facteur de qualité du circuit global. Cette dernière nous permettra de mesurer le courant dans le circuit RLC parallèle.
- La résistance interne de la bobine  $R_L$  doit être considérée dans les calculs en utilisant la courbe de facteur de qualité de la bobine,
- La fréquence angulaire de résonance ( $\omega_0$ ) et le facteur de qualité du circuit RLC parallèle ( $Q_{\text{parallèle}}$ ) à la résonance sont donnés par :

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \text{et} \quad Q_{\text{parallèle}} = \frac{R_T}{\omega_0 L} = \frac{f_0}{\Delta f} \quad \text{où } R_T = R // r // R_{Lp}.$$

Avec  $R_{Lp}$  représentant la résistance du modèle parallèle de la bobine à la pulsation de résonance.

- Déterminer les valeurs de la capacité  $C$  et de la résistance  $R$  pour respecter les spécifications du filtre en termes de fréquence centrale et de bande d'arrêt,

**Valeurs de la résistance  $R_{Lp}$ , de la capacité  $C$  et de la résistance  $R$**

$$f_0 = 4500\text{Hz}, \quad \Delta f = 200\text{Hz}, \quad L = 300\text{mH}$$

Valeurs de la résistance  $R_{Lp}$

Trouver la résistance de la bobine à 150mH, puis doubler la valeur, comme si l'on avait deux bobines de 150Mh en série pour faire 300mH.

$$Q_L = \frac{\omega_0 L}{R_L} \rightarrow R_L = \frac{\omega_0 L}{Q_L} = \frac{2\pi \times 4500 \times 0.3}{100} = 84.8\Omega \rightarrow R_{L\text{serie}} = 2R_L = 169.6\Omega$$

$$R_{Lp} = R_{L\text{serie}} \times Q_L^2 = 1696\text{k}\Omega$$

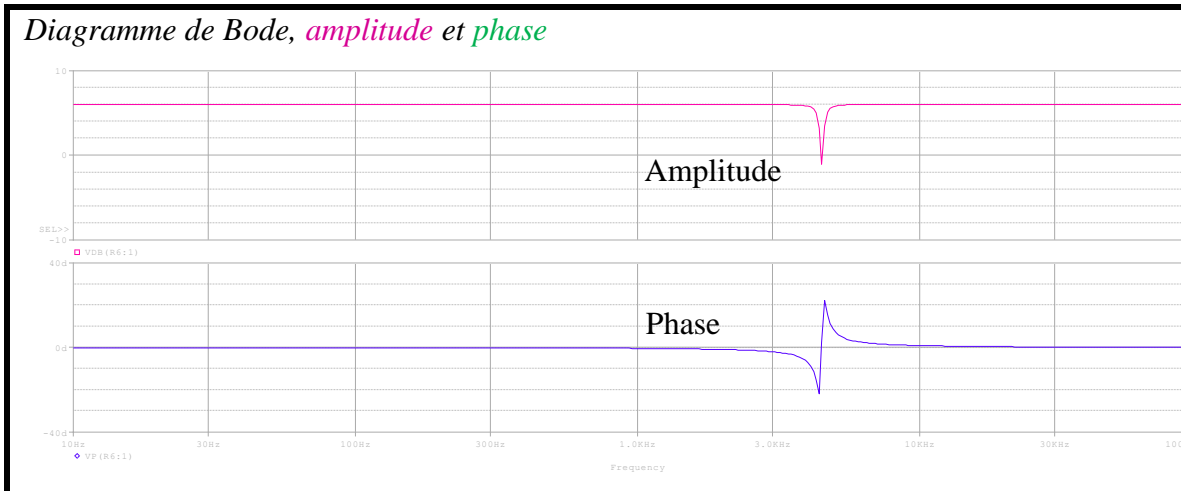
Valeurs de la capacité  $C$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \rightarrow C = \frac{1}{\omega_0^2 L} = \frac{1}{(2\pi \times 4500)^2 \times 0.3} = 4.17\text{nF}$$

Valeurs de la résistance  $R$

$$Q_{RLC//} = \frac{R // r // R_{Lp}}{\omega_0 L} = \frac{f_0}{\Delta f} \rightarrow R = 2,9\text{M}\Omega$$

- En prenant  $v_r(t)$  comme sortie avec  $v_r(t)$  égale à  $r.i_r(t)$ , donner la réponse en fréquence du filtre coupe bande (diagramme de Bode, amplitude et phase) en utilisant le logiciel Cadence PSD ou PSPICE (section 1.2.4),



- Tracer l'allure du courant  $i_r(t)$  proportionnel à  $v_r(t)$  quand la tension d'entrée  $v_e(t)$  est un signal carré d'amplitude maximale de 2 volts et de fréquence égale à celle de la résonance  $f_0$ .

