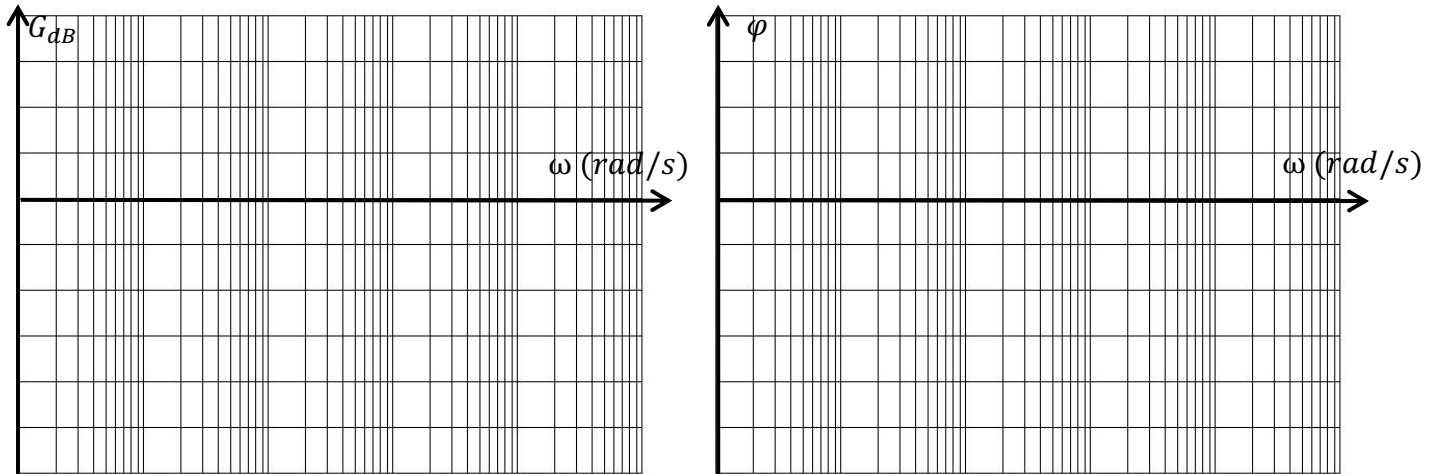


Fiche méthode 13 :  
Comment exploiter un diagramme de Bode ?

❖ Un diagramme de Bode est l'association de ces deux graphes :



Le déphasage sera toujours choisi tel que :  $-\pi \leq \varphi \leq \pi$ .

	Signal d'entrée	Signal de sortie
Expression réelle	$e(t) = E \cos(\omega t)$	$s(t) = U_m \cos(\omega t + \varphi)$

$$G_{dB} = 20 \times \log\left(\frac{U_m}{E}\right)$$

❖ Nature du filtrage du système :

On étudie le signe du gain à basses fréquences puis à hautes fréquences.

Si  $G_{dB} > 0$  alors le système est **amplificateur pour cette gamme de fréquence**

Si  $G_{dB} < 0$  alors le système est **atténuateur pour cette gamme de fréquence**

Si  $G_{dB} = 0 \text{ dB}$  alors le système est **passer pour cette gamme de fréquence**

Puis on conclut avec l'un des termes suivants : passe-haut, passe-bas ou passe-bande.

❖ Pulsation de coupure  $\omega_c$  à  $-3\text{dB}$  :

1<sup>ère</sup> étape : On détermine graphiquement la valeur maximale du gain du système, noté  $G_{dB,max}$

2<sup>ème</sup> étape : On lui soustrait 3 dB : on calcule donc  $G_{dB,max} - 3\text{dB}$

3<sup>ème</sup> étape : Sur le graphe, on cherche le point (ou les points) de la courbe ayant pour ordonnée  $G_{dB,max} - 3\text{dB}$ . Son abscisse (ou leur abscisse) a pour valeur  $\omega_c$  ( ou  $\omega_{c,min}$  et  $\omega_{c,max}$  )

❖ Largeur de la bande passante à  $-3\text{dB}$  d'un système :

	Filtrage passe-bas	Filtrage passe haut	Filtrage passe bande
Bande passante	$[0 ; \omega_c]$	$[\omega_c ; +\infty[$	$[\omega_{c,min} ; \omega_{c,max}]$
Largeur de la bande passante	$\Delta\omega = \omega_c - 0 = \omega_c$	La largeur de bande passante n'est pas définie.	$\Delta\omega = \omega_{c,max} - \omega_{c,min}$

### ❖ **Pentes des asymptotes de la courbe $G_{dB}(\omega)$ :**

*1<sup>ère</sup> étape :* Tracer l'asymptote (droite tangente à la courbe) à hautes fréquences/pulsations nommée  $G^{THF}_{dB}$ .  
Tracer l'asymptote à basses fréquences/pulsations nommée  $G^{TBF}_{dB}$ .

*2<sup>ème</sup> étape :*

Si l'asymptote est parallèle à l'axe des abscisses, sa pente est nulle et vaut donc  $0 \text{ dB/décade}$ .

Si l'asymptote est parallèle à l'axe des ordonnées, sa pente est infinie et n'est donc pas définie.

*3<sup>ème</sup> étape :*

Si l'asymptote n'est pas parallèle à l'un des axes, repérer sur l'axe des abscisses deux valeurs de fréquences ou pulsations multiples de 10 (par exemple, à hautes pulsations,  $10 \times 10^3 \text{ rad/s}$  et  $10 \times 10^4 \text{ rad/s}$ ). Cet intervalle est appelé une **décade**.

*4<sup>ème</sup> étape :*

Sur cette décade et **sur l'asymptote**, déterminer la valeur de la variation du gain  $G_{dB}$ . Attention au signe de la variation !

*5<sup>ème</sup> étape :*

En déduire la pente de l'asymptote en  $\text{dB/décade}$ .

### ❖ **Intersection des asymptotes : pulsation propre du système $\omega_0$ pour l'ordre 2**

Pour les systèmes d'ordre 1, l'intersection des asymptotes  $G^{THF}_{dB}$  et  $G^{TBF}_{dB}$  a pour abscisse, la pulsation de coupure du système  $\omega_c$ .

Pour les systèmes d'ordre 2, l'intersection des asymptotes  $G^{THF}_{dB}$  et  $G^{TBF}_{dB}$  a pour abscisse, la pulsation propre du système  $\omega_0$  ( $\omega_c = \omega_0$  si  $Q = 0,707$ )

### ❖ **Amplification $H_0$ :**

*1<sup>ème</sup> étape :* avoir déterminer la nature du filtrage réalisé par le système.  $H_0$  a un sens différent selon le filtre :

- Pour un filtre passe-bas,  $H_0$  est nommé amplification statique.
- Pour un filtre passe-haut,  $H_0$  est nommé amplification à hautes fréquences.
- Pour un filtre passe-bande,  $H_0$  est nommé amplification à la pulsation propre (ou de résonance)

*2<sup>ème</sup> étape :* Sur l'axe des ordonnées, on détermine la valeur du gain, notée  $G_{0,dB}$  (en  $\text{dB}$ )

- Pour un filtre passe-bas,  $G_{0,dB}$  est la valeur du gain à basses fréquences (quand  $\omega$  tend vers  $0 \text{ rad/s}$ )
- Pour un filtre passe-haut,  $G_{0,dB}$  est la valeur du gain à hautes fréquences (quand  $\omega$  tend vers  $+\infty$ )
- Pour un filtre passe-bande,  $G_{0,dB}$  est la valeur du gain à la pulsation centrale (ou à la pulsation propre nommée aussi pulsation de résonance)

*3<sup>ème</sup> étape :* On en déduit  $|H_0|$ , par un calcul, en utilisant la formule suivante :

$$|H_0| = 10^{\frac{G_{0,dB}}{20}}$$

### ❖ **Comment déterminer l'ordre d'un système à l'aide d'un diagramme de Bode ?**

On appelle domaine de variation du déphasage, noté  $\Delta\varphi$ , la grandeur suivante :

$$\Delta\varphi = |\varphi_{HF} - \varphi_{BF}|$$

$\varphi_{HF}$  : valeur du déphasage pour les hautes fréquences du signal d'entrée

$\varphi_{BF}$  : valeur du déphasage pour les basses fréquences du signal d'entrée

Première méthode : comment déterminer l'ordre d'un système à l'aide d'un diagramme de Bode ? (à retenir)

Il faut déterminer graphiquement le domaine de variation du déphasage  $\Delta\varphi = |\varphi_{HF} - \varphi_{BF}|$  puis utiliser la règle suivante :

$$\text{Si } \Delta\varphi = n \times \frac{\pi}{2} \text{ alors le système étudié est d'ordre } n.$$

Deuxième méthode : comment déterminer l'ordre d'un système à l'aide d'un diagramme de Bode ? (à retenir)

Un système passe-bas d'ordre  $n$  possède une asymptote à hautes fréquences de pente  $-20 \times n \text{ dB/décade}$   
Un système passe-haut d'ordre  $n$  possède une asymptote à basses fréquences de pente  $20 \times n \text{ dB/décade}$   
Un système passe-bande d'ordre  $n$  possède une asymptote à basses fréquences de pente  $10 \times n \text{ dB/décade}$  et une asymptote à hautes fréquences de pente  $-10 \times n \text{ dB/décade}$

Il faut préciser **la nature du filtrage et la pente des asymptotes** puis on conclut sur l'ordre du système.

### ❖ Particularités des systèmes d'ordre 2 :

Pour les systèmes **passe-bas et passe-haut du second ordre**, si  $Q > \frac{1}{\sqrt{2}}$ , il y a apparition d'un phénomène nommé résonance.

Pour  $\omega = \omega_r$ , le gain est maximal : il y a donc une amplification maximale du signal d'entrée.

Plus le facteur de qualité  $Q$  augmente, plus la résonance est aigüe et plus la pulsation de résonance est proche de  $\omega_0$ . Une étude théorique du gain nous donne l'expression suivante :

$$\omega_r = \omega_0 \sqrt{1 - \frac{1}{2Q^2}}$$

Pour les systèmes passe-bas et passe-haut, la pulsation propre  $\omega_0$  du système est identique à la pulsation de coupure  $\omega_c$  du système si  $Q = 0,707$ .

Pour les systèmes **passe-bande d'ordre 2** :

Plus le facteur de qualité  $Q$  est élevé, plus le système passe-bande est sélectif : la largeur de la bande passante est de plus en plus faible.

La pulsation centrale ne dépend pas de  $Q$  : c'est toujours  $\omega_0$ .

La bande passante peut se déterminer ainsi :

$$\Delta\omega = \frac{\omega_0}{Q} \quad \text{ou encore} \quad \Delta f = \frac{f_0}{Q}$$

Plus le facteur de qualité augmente, plus la bande passante est faible.