

Enceintes électroacoustiques

Filtrage passif

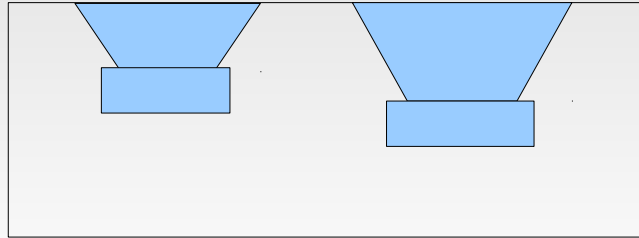
Bruno GAZENGEL

Objectif

- L'objectif du filtrage est de répartir l'énergie dans différentes bandes de fréquences pour éviter le recouvrement.
- Le recouvrement fréquentiel entre deux haut-parleurs a pour effet de créer un rayonnement à 2 sources, ce qui provoque des interférences spatiales
- Exemple : cf. ISVR.

Interférences entre 2 haut-parleurs

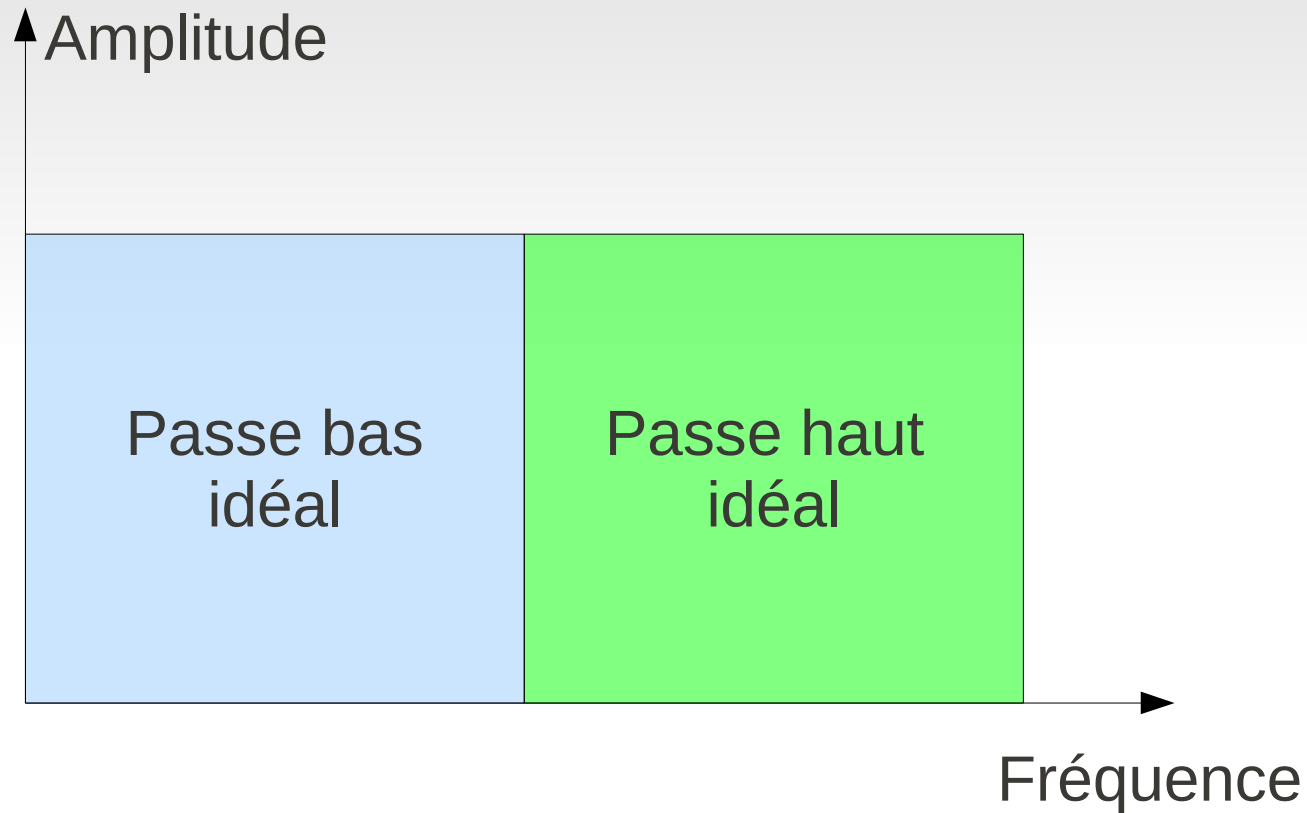
- Soit l'enceinte ci-dessous



- A la fréquence de raccordements, il existe des interférences montrées par les images ci-dessous
 - 2 sources espacées d'une longueur d'onde
 - 2 sources espacées de 2 longueurs d'onde
 -

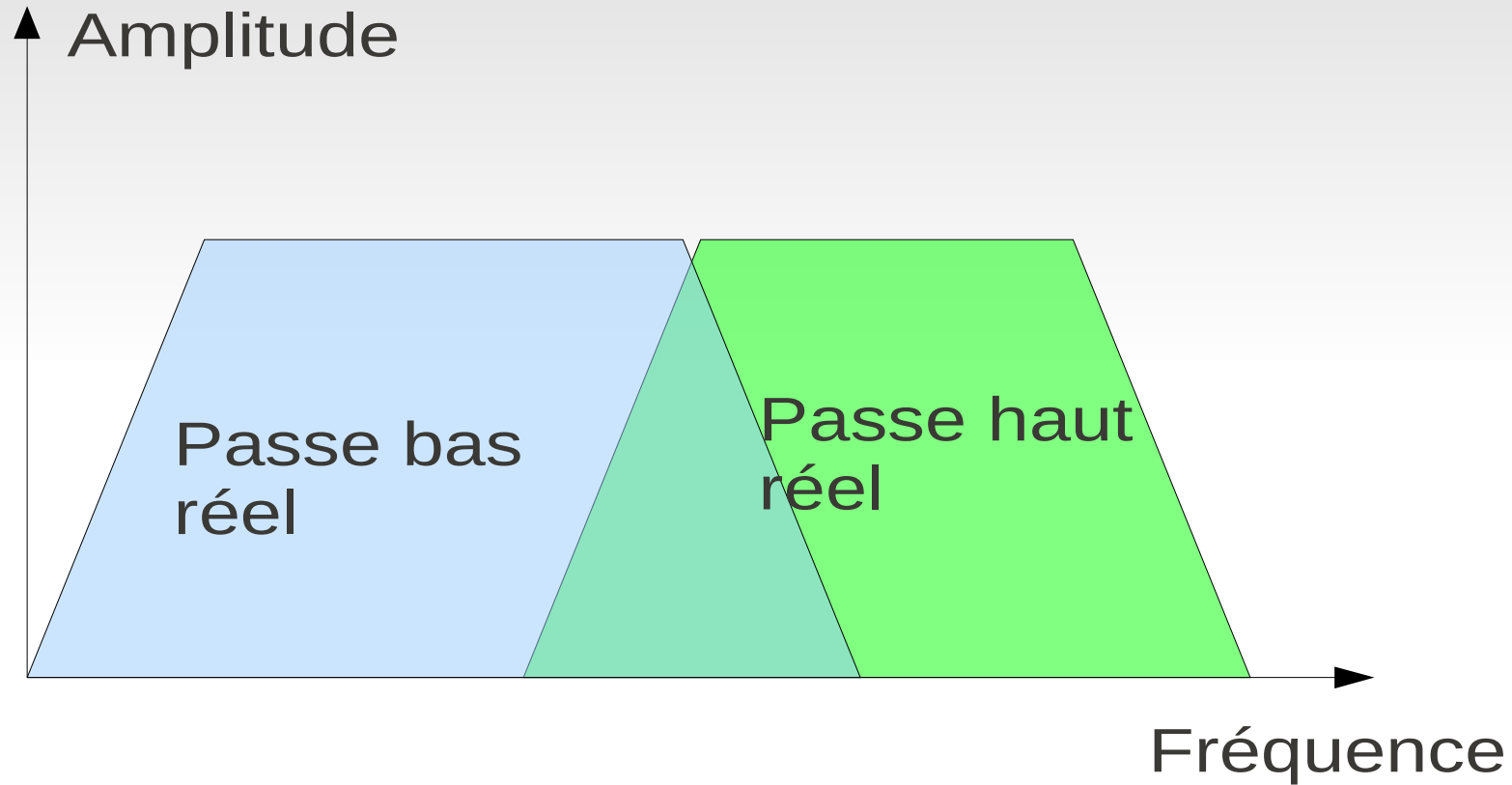
Filtre idéal

- Pas de recouvrement entre les deux filtres



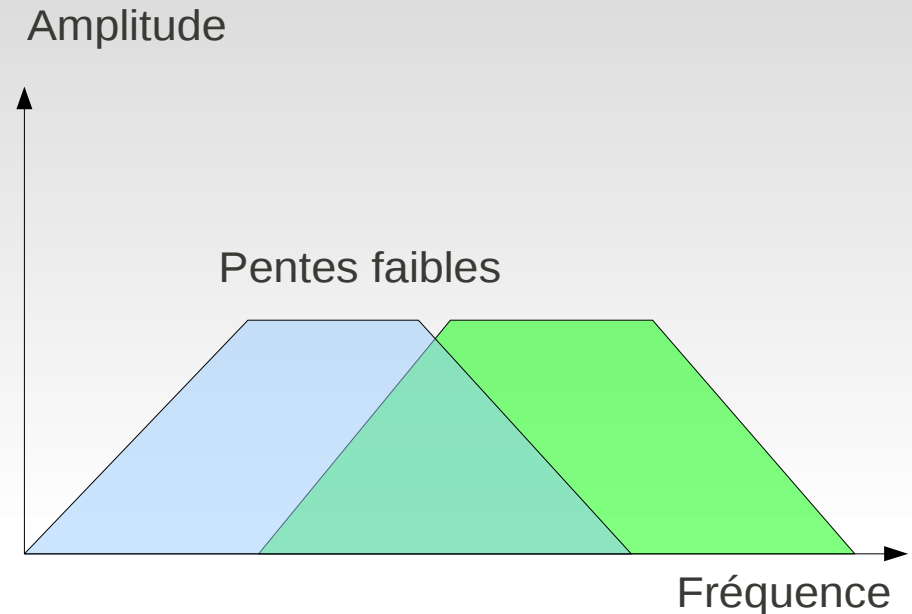
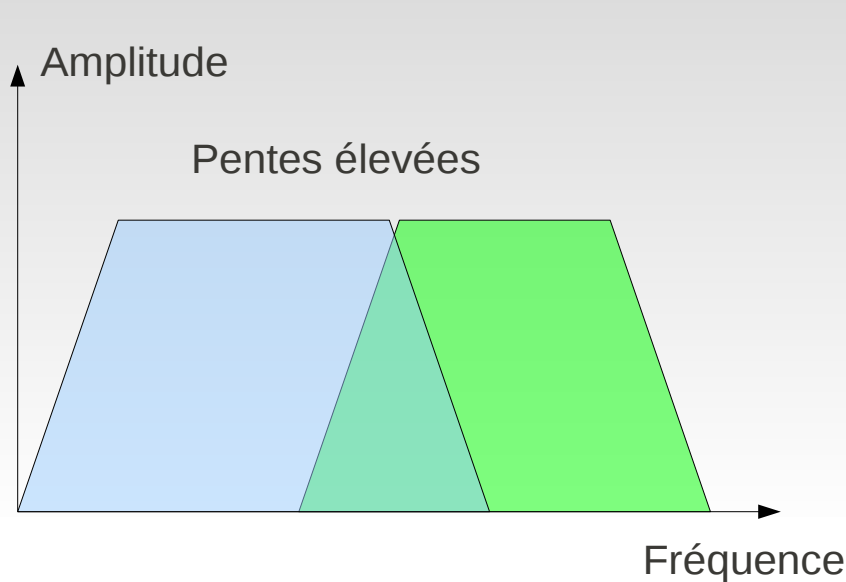
Filtre réel

- Recouvrement entre les deux filtres



Filtre réel

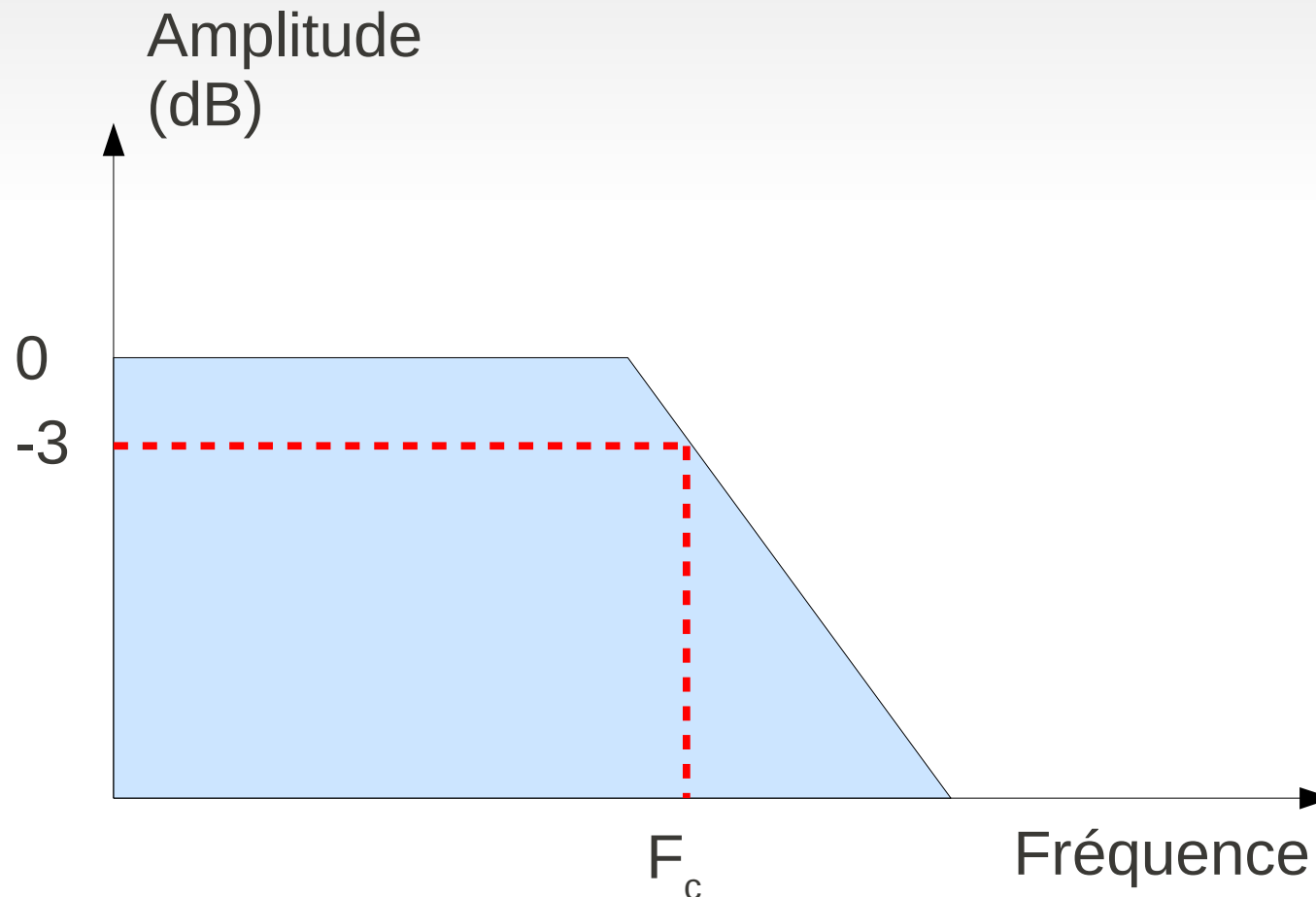
- Le recouvrement dépend de la pente des filtres



- La pente du filtre dépend de son ordre
 - Ordre 1 : pente à + ou – 6 dB / octave
 - Ordre 2 : pente à + ou – 12 dB / octave
 - Ordre 3 : pente à + ou – 18 dB / octave
 - ...

Fréquence de coupure

- Définition
 - La fréquence de coupure est définie comme la fréquence correspondant à une atténuation de 3 dB d'un filtre



Impédance du haut-parleur

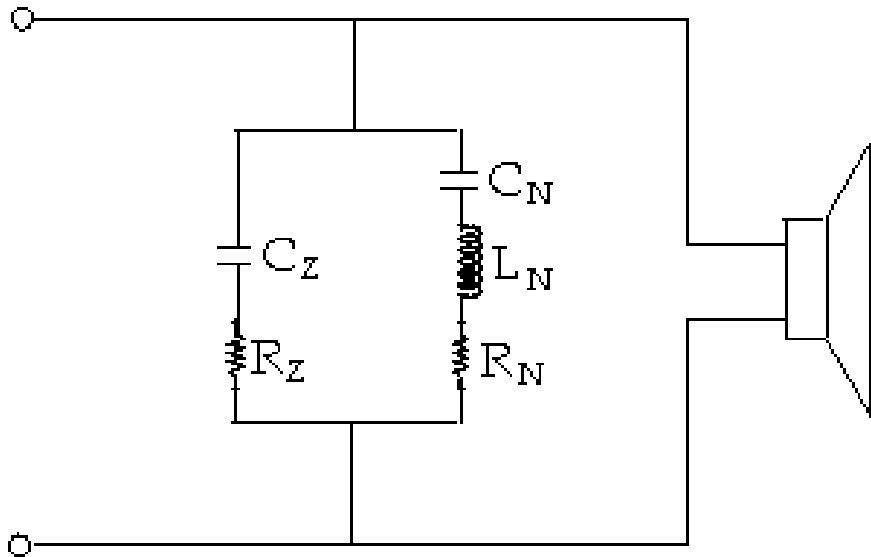
- Le haut-parleur est considéré comme une résistance pure
 - Soit en connaissant la valeur de son impédance à la fréquence de coupure
 - Soit en compensant l'impédance électrique du haut-parleur pour des circuits appropriés.
- L'estimation de l'impédance du haut-parleur à la fréquence de coupure est la première étape indispensable.

Impédance du haut-parleur

- Préviation de la valeur de l'impédance à la fréquence de coupure
 - La valeur de l'impédance est lue sur la courbe mesurée (fiche technique)
 - La valeur de l'impédance à la fréquence de coupure est calculée à l'aide d'un modèle du haut-parleur alimenté par les valeurs des paramètres
 - **Modèle de calcul de l'impédance électrique d'un haut-parleur**

Impédance du haut-parleur

- Compensation de l'impédance d'un haut-parleur
 - Deux circuits de correction permettent de corriger
 - L'effet de l'inductance en hautes fréquences
 - L'effet de la résonance
- Principe et valeurs



$$R_Z = 1.25 R_e$$

$$C_Z = \frac{L_e}{R_Z^2}$$

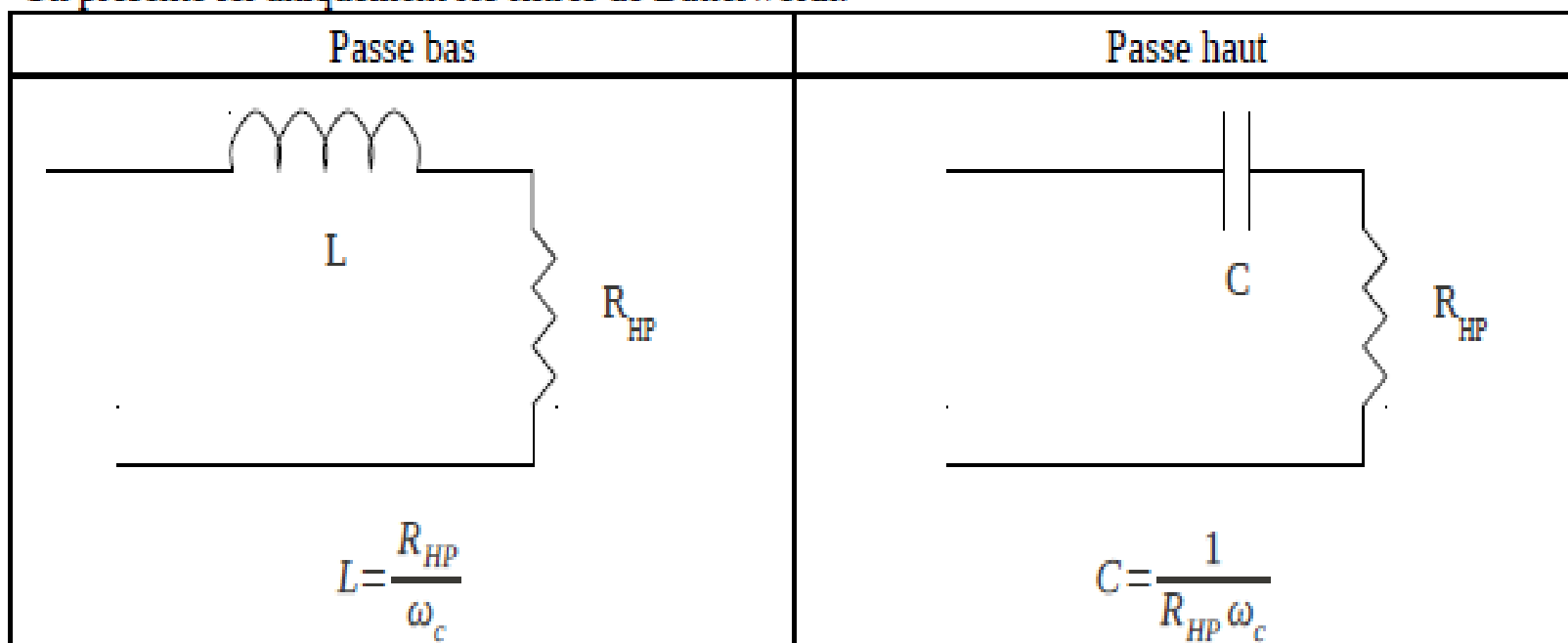
$$R_N = R_e + \frac{Q_{es} R_e}{Q_{ms}}$$

$$L_N = \frac{Q_{es} R_e}{2\pi f_s}$$

$$C_N = \frac{1}{2\pi f_s Q_{es} R_e}$$

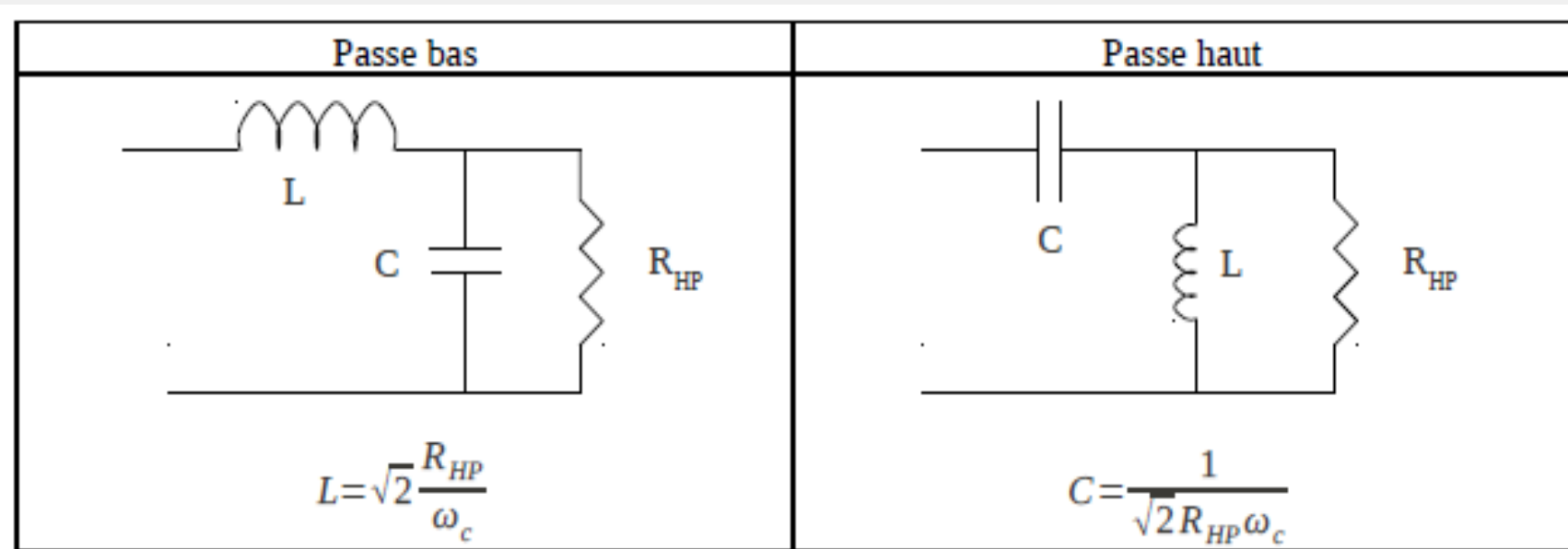
Filtres usuels

- Filtre d'ordre 1
 - Choisir F_c : fréquence de coupure
 - Connaître Z : impédance du HP à F_c



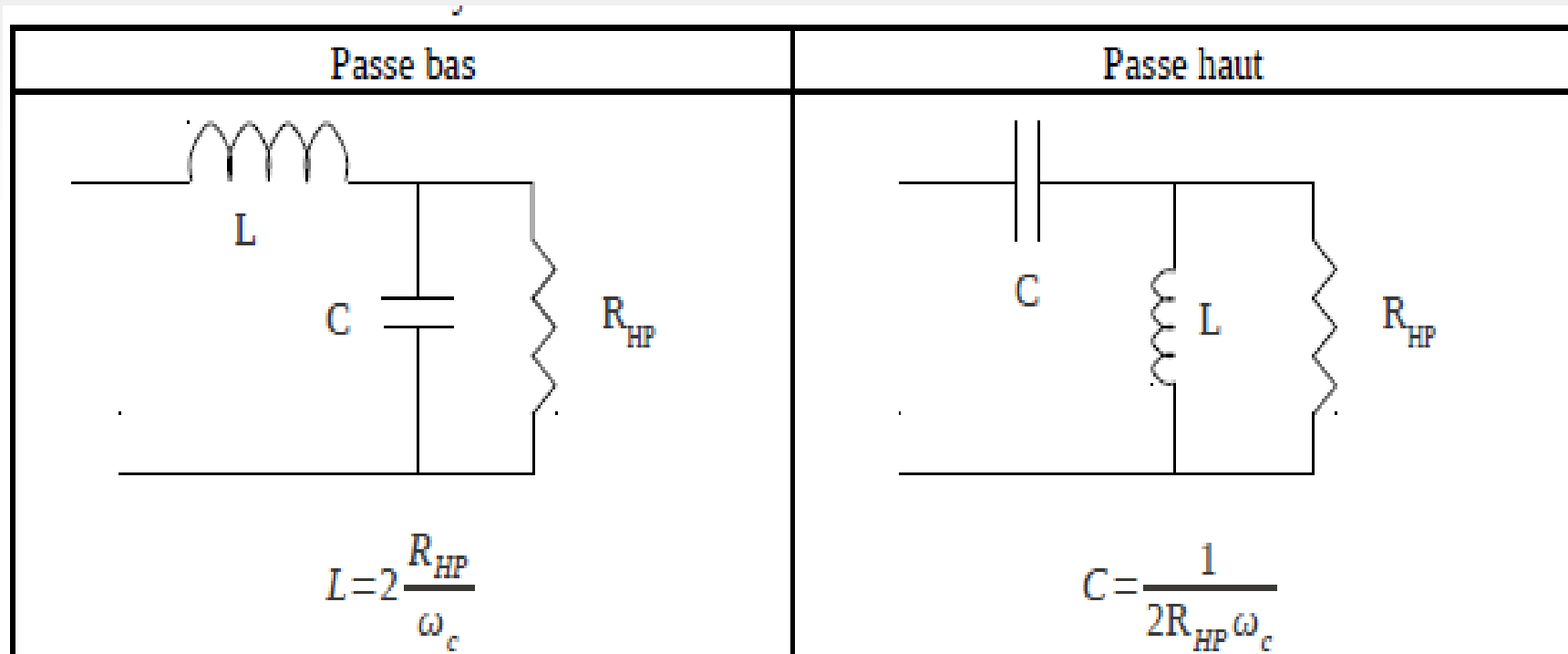
Filtres usuels

- Filtre de Butterworth d'ordre 2 passe bas
 - Choisir F_c : fréquence de coupure
 - Connaître Z : impédance du HP à F_c



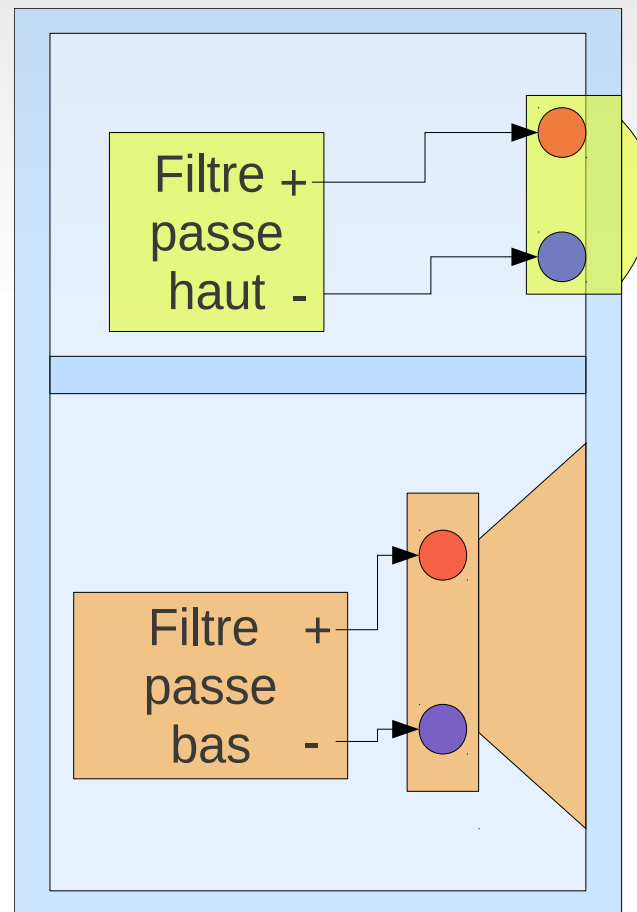
Filtres usuels

- Filtre de Linkwitz-Riley d'ordre 2 passe bas
 - Choisir F_c : fréquence de coupure
 - Connaître Z : impédance du HP à F_c



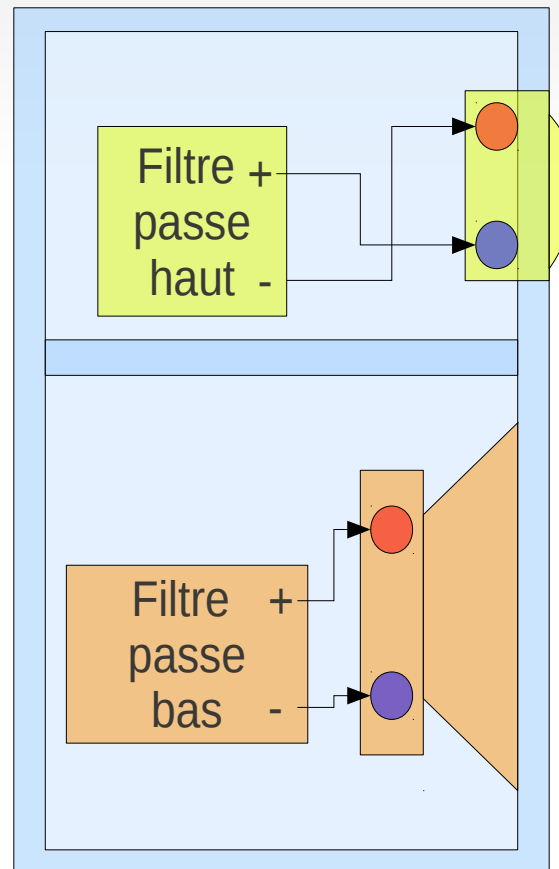
Connexion des haut-parleurs

- Filtre d'ordre 1
 - Les haut-parleurs sont connectés en phase



Connexion des haut-parleurs

- Filtre d'ordre 2
 - Les haut-parleurs sont connectés en opposition de phase sans quoi la réponse est nulle à la fréquence de coupure



Réponses théoriques de filtres usuels

- Filtre ordre 1

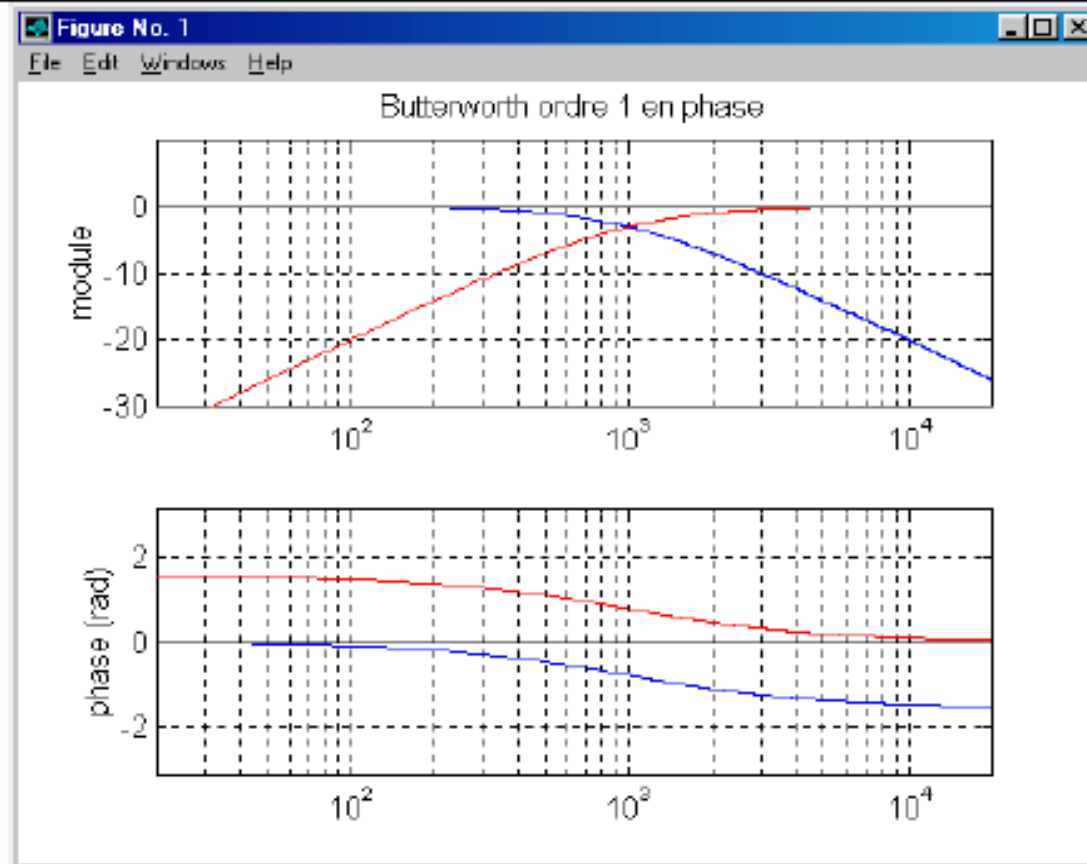


Figure 3 : réponses en fréquence des filtres de Butterworth d'ordre 1 (connexion en phase).

Réponses théoriques de filtres usuels

- Filtre Butterworth ordre 2 en phase
 - Courbe en noir : somme des deux filtres

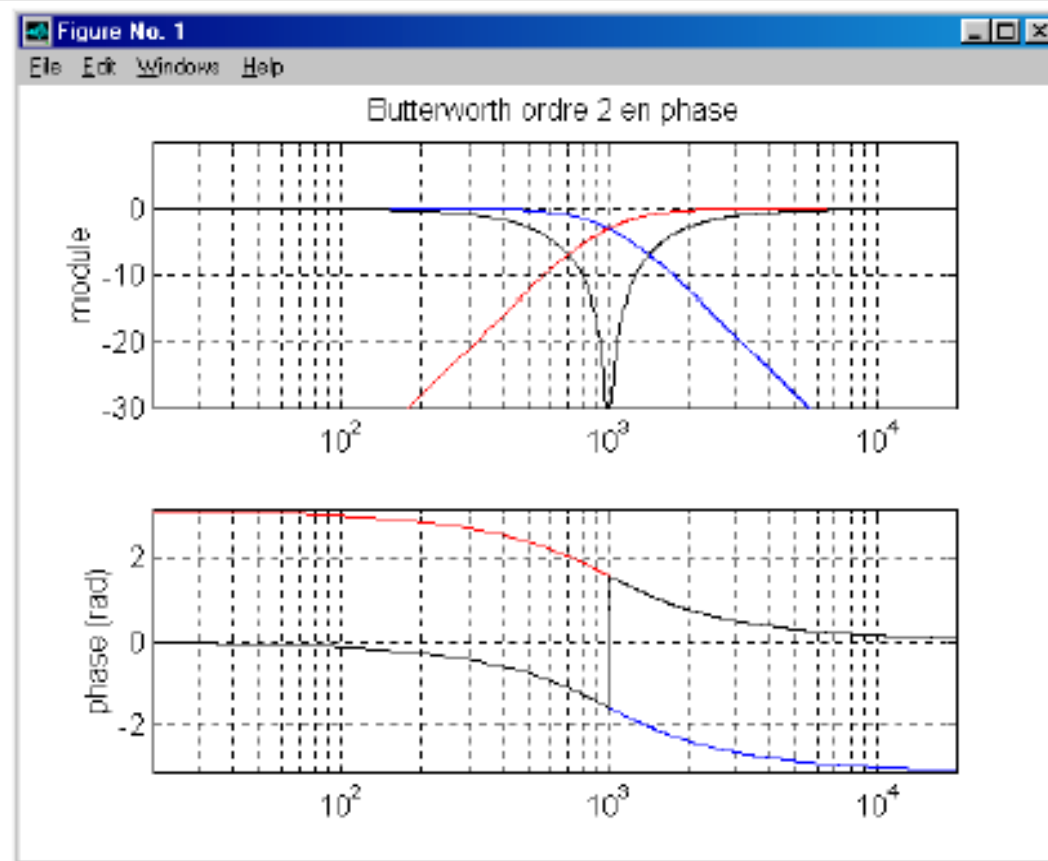


Figure 4 : réponses en fréquence des filtres de Butterworth d'ordre 2 (connexion en phase).

Réponses théoriques de filtres usuels

- Filtre Butterworth ordre 2 en opposition de phase
 - Courbe en noir : somme des deux filtres

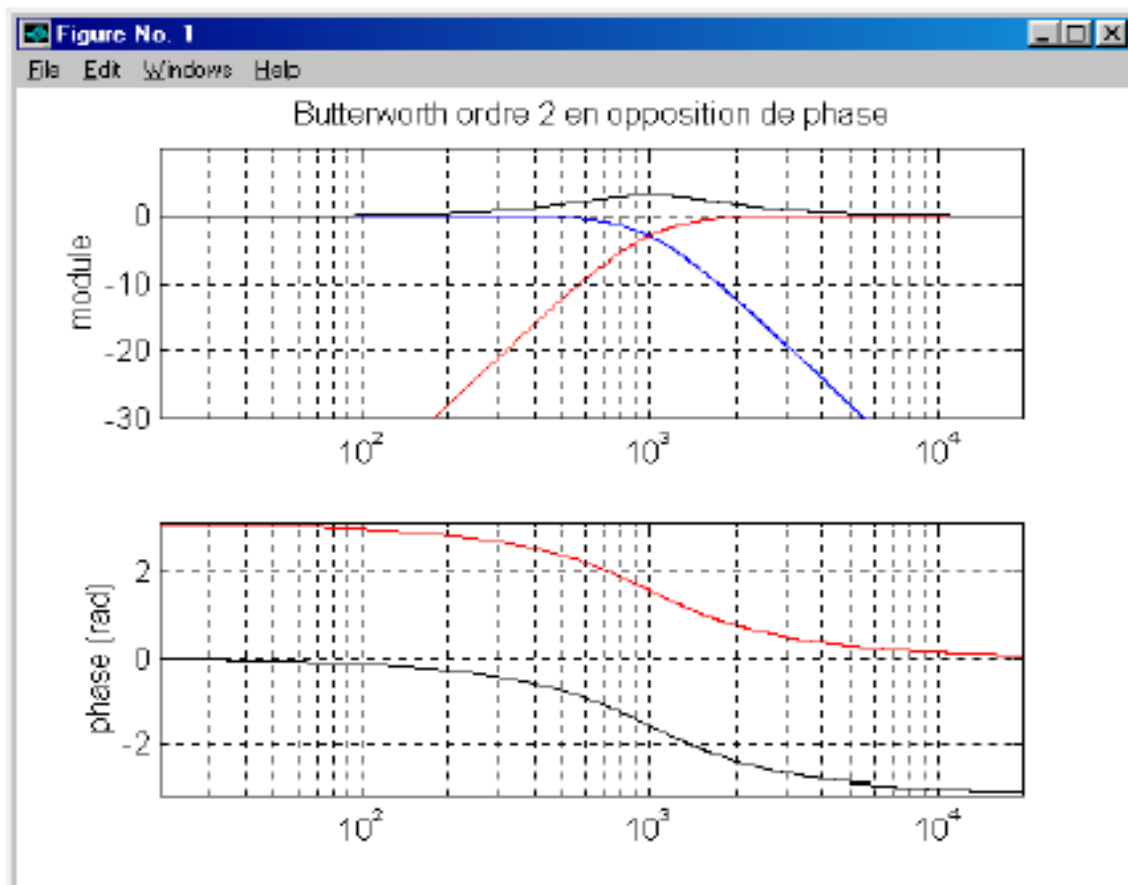


Figure 5 : réponses en fréquence des filtres de Butterworth d'ordre 2 (connexion en opposition phase).

Réponses théoriques de filtres usuels

- Filtre Linkwitz-Riley ordre 2 en phase
 - Courbe en noir : somme des deux filtres

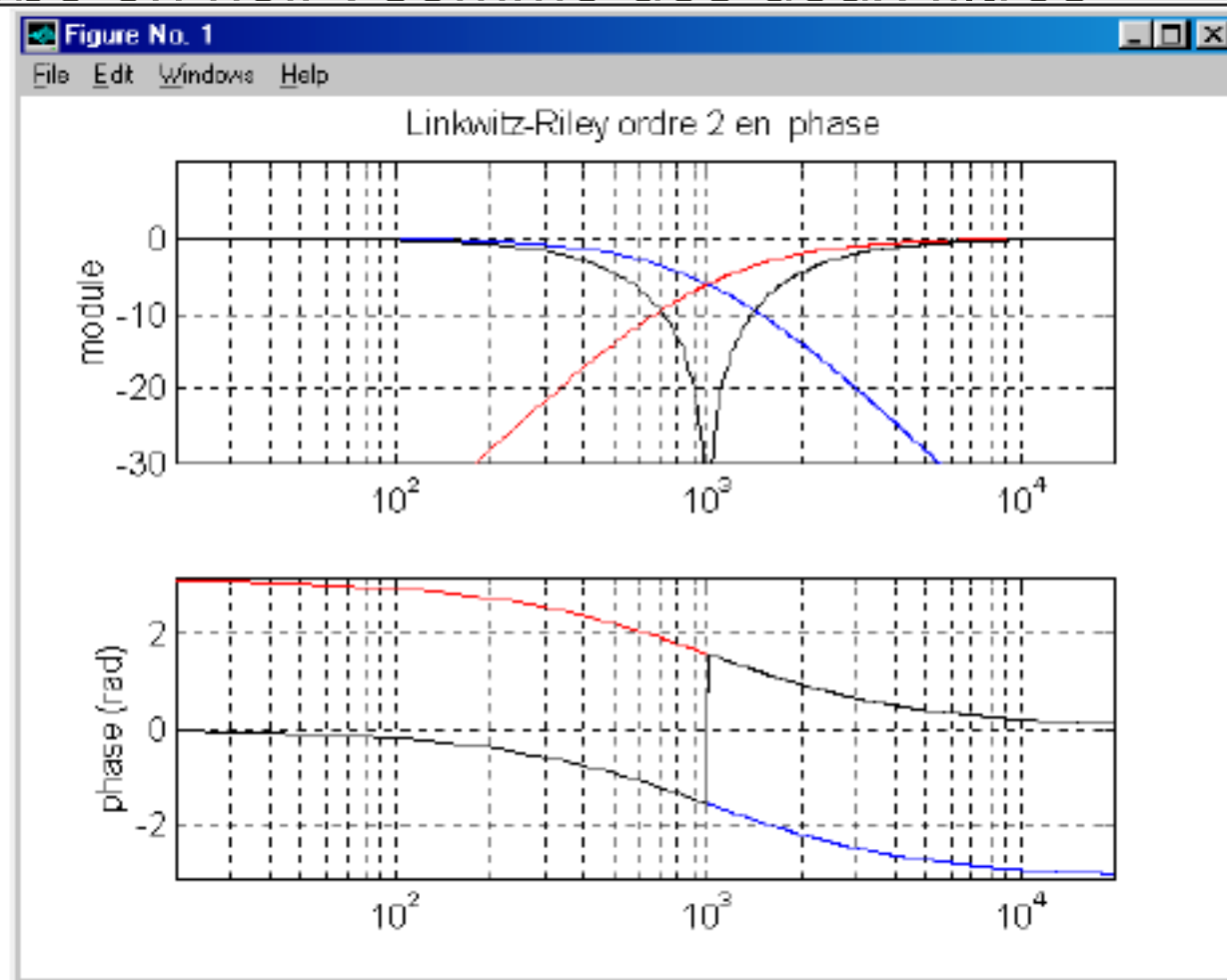


Figure 8 : fonctions de transfert de deux filtres de Linkwitz Riley d'ordre 2 (connexion en phase).

Réponses théoriques de filtres usuels

- Filtre Linkwitz-Riley ordre 2 en opposition de phase
 - Courbe en noir : somme des deux filtres

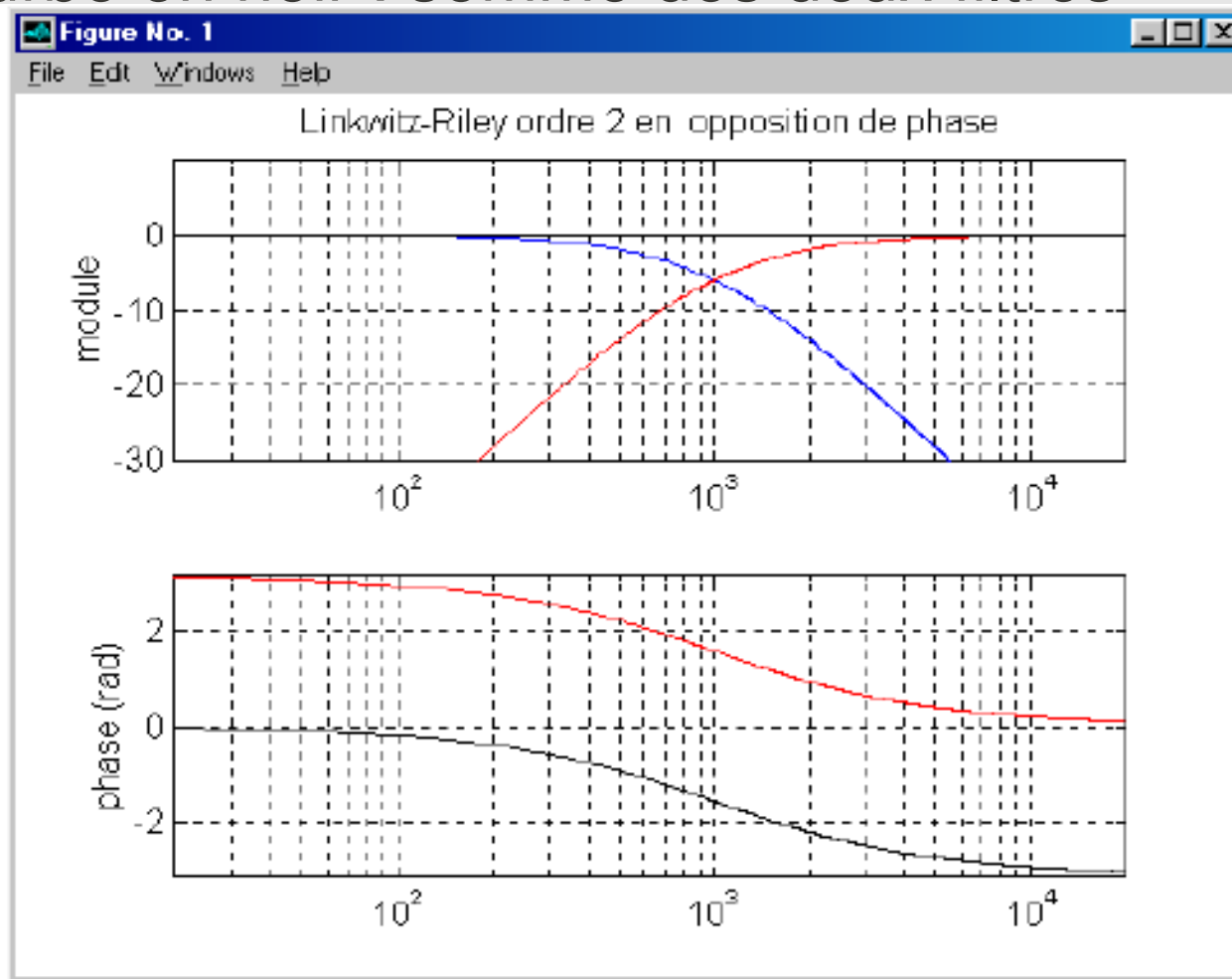


Figure 9 : fonctions de transfert de deux filtres de Linkwitz Riley d'ordre 2 (connexion en opposition de phase).

Conception d'un filtre

- Méthode
 - Choix de la fréquence de coupure
 - Supérieure à la fréquence de résonance du tweeter
 - Inférieur à la fréquence de « break up » du boomer (zone de fréquence pour laquelle la réponse est chahutée)
 - Evaluation de l'impédance du haut-parleur à la fréquence de coupure (fiche technique, calcul, mise en oeuvre de la compensation d'impédance)
 - Choix de l'ordre et du type du filtre
 - Calcul des valeurs de composants idéaux

Conception d'un filtre

- Méthode
 - Ajustement des valeurs des composants aux valeurs données dans le commerce
 - Calcul de la nouvelle fréquence de coupure avec les valeurs réelles des composants.
 - Ajustement si nécessaire

Simulation de la réponse d'un filtre

- Outils en ligne
 - Site d'un passionné d'enceintes
- Logiciels de calcul d'enceintes
 - Liste sur le site speaker building