

Distortions de phase et effets temporels des systèmes audio

Samuel Harsch

114ème meeting AES Swiss section
03.04.2008

Phase & retard de groupe

$H(f)$ est la fonction de transfert d'un système audio

Phase $\text{ph}(f) = \arg(H(f)) * 180/\pi$

Retard de groupe $\text{tgr}(f) = -(1/360) * (d\text{ph}(f)/df)$

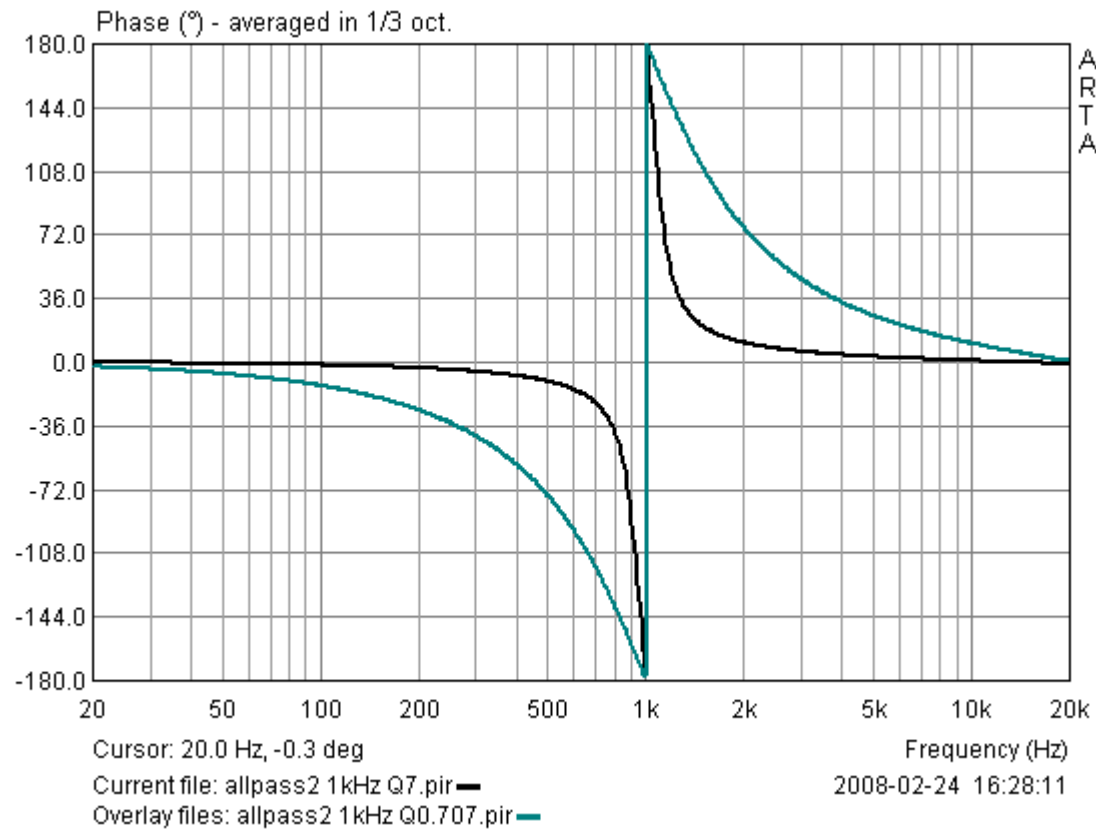
La meilleure façon d'observer et de tester les effets des distortions de phase est d'utiliser un filtre passe-tout.

Un filtre passe-tout a une amplitude constante, mais produit uniquement une rotation de phase:

- Un filtre du 1er ordre ne produit pas de rotation de phase.
- Un filtre passe-tout du 1er ordre produit un déphasage de 180° comme un filtre du 2ème ordre.
- Un filtre passe-tout du 2ème ordre produit un déphasage de 360° comme un filtre du 4ème ordre.

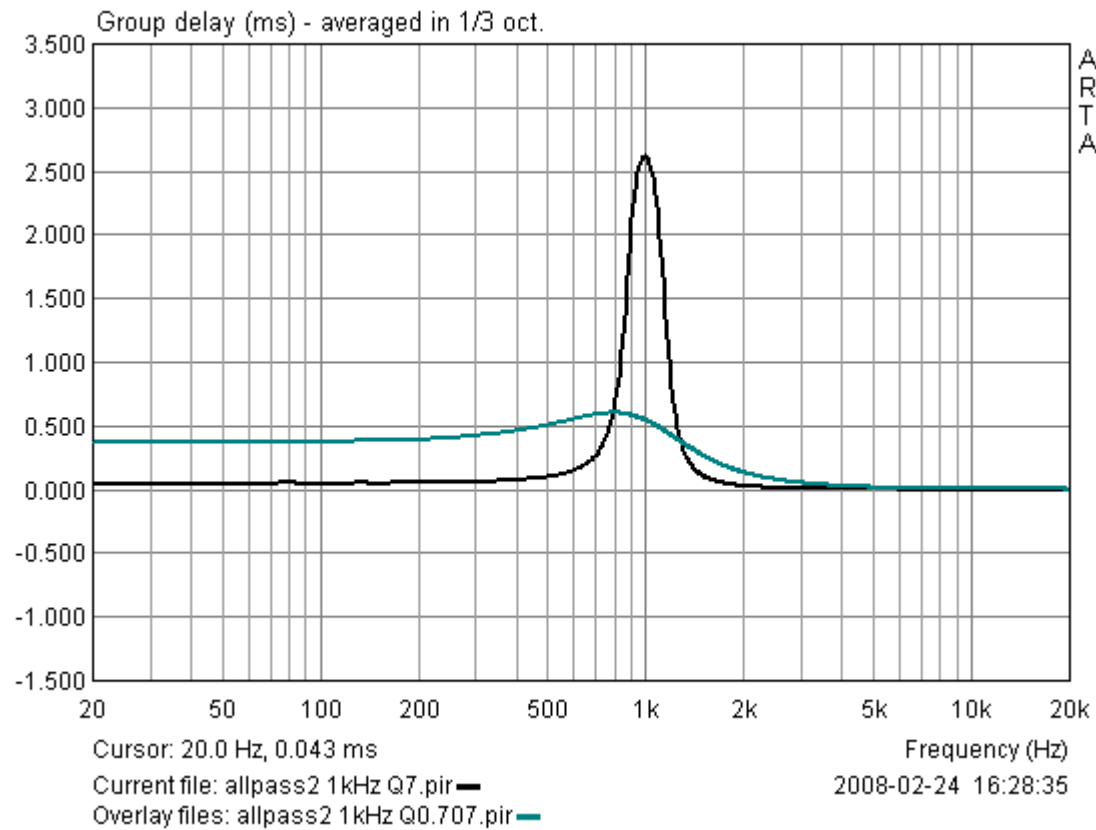
Phase & retard de groupe

Passe-tout 2ème ordre 1kHz Q=0.707
Passe-tout 2ème ordre 1kHz Q=7



Phase & retard de groupe

Passe-tout 2ème ordre 1kHz Q=0.707
Passe-tout 2ème ordre 1kHz Q=7



Audibilité des distortions de phase

- Semble plus audible au basses fréquences
- L'effet temporel est plus prononcé avec un facteur de qualité élevé
- La perception est très individuelle

Ref:

On the Perception of Phase Distortion

Hideo Suzuki, Shigeru Morita, and Takeo Shindo

JAES 1980 September Vol 28, Nr 9

Sources de distortions de phase

- Coupure basse de l'enceinte
- Filtre
- Résonances (modes) de la pièce

Coupure basse de l'enceinte

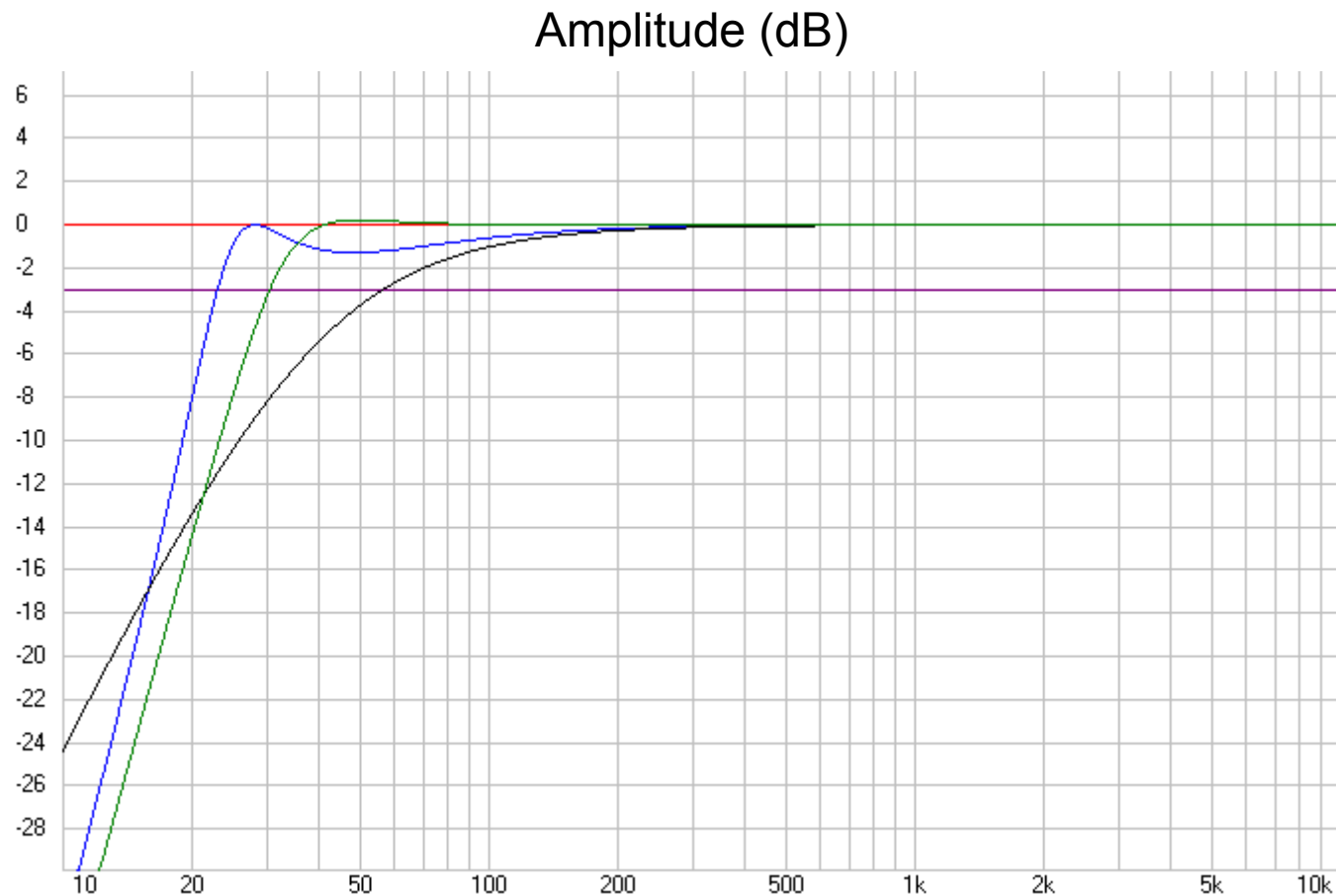
- L'effet est plus prononcé avec des caissons utilisant un résonateur (bass-reflex, ligne de transmission etc...)
- La coupure aux basses fréquence est similaire à un filtre du 2ème ordre pour un caisson clos et du 3ème ordre pour un caisson bass-reflex.

Haut-parleur Peerless XXLS10 dans différents types de caissons

Bass reflex Quasi Butterworth (42l; 28Hz)

Bass reflex extended low (100l; 25Hz)

Close box (60l; 39Hz Qtc 0.53)



Haut-parleur Peerless XXLS10 dans différents types de caissons

Bass reflex Quasi Butterworth (42l; 28Hz)

Bass reflex extended low (100l; 25Hz)

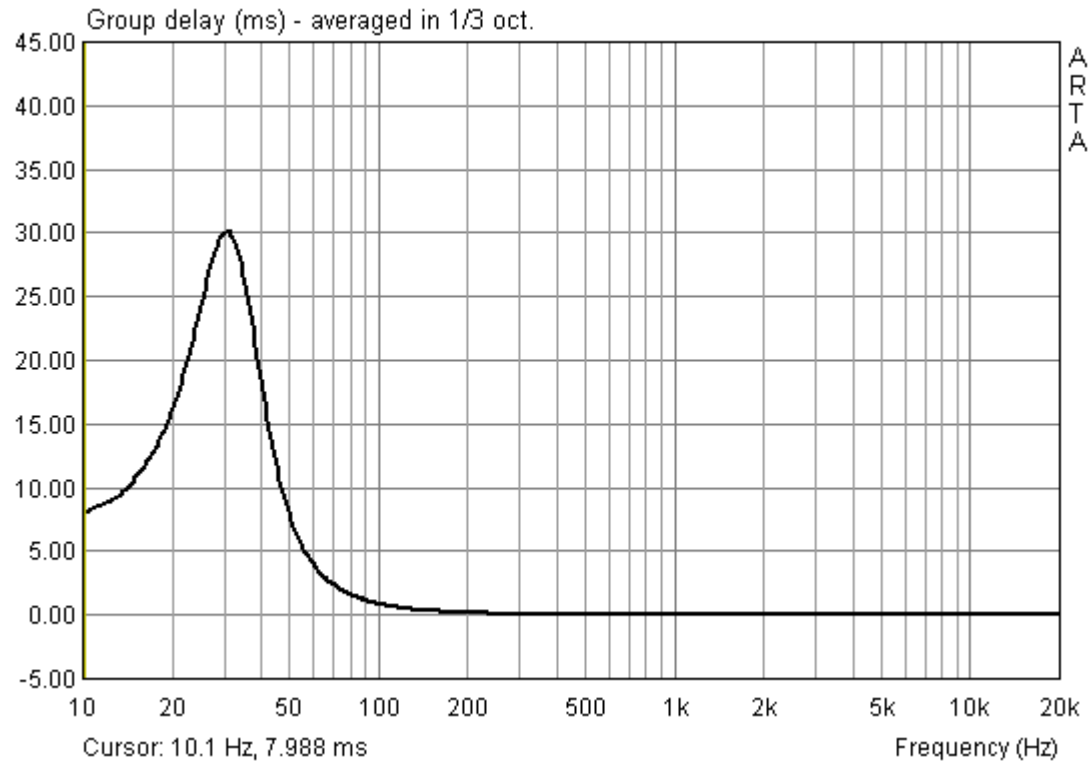
Close box (60l; 39Hz)

Retard de groupe (ms)



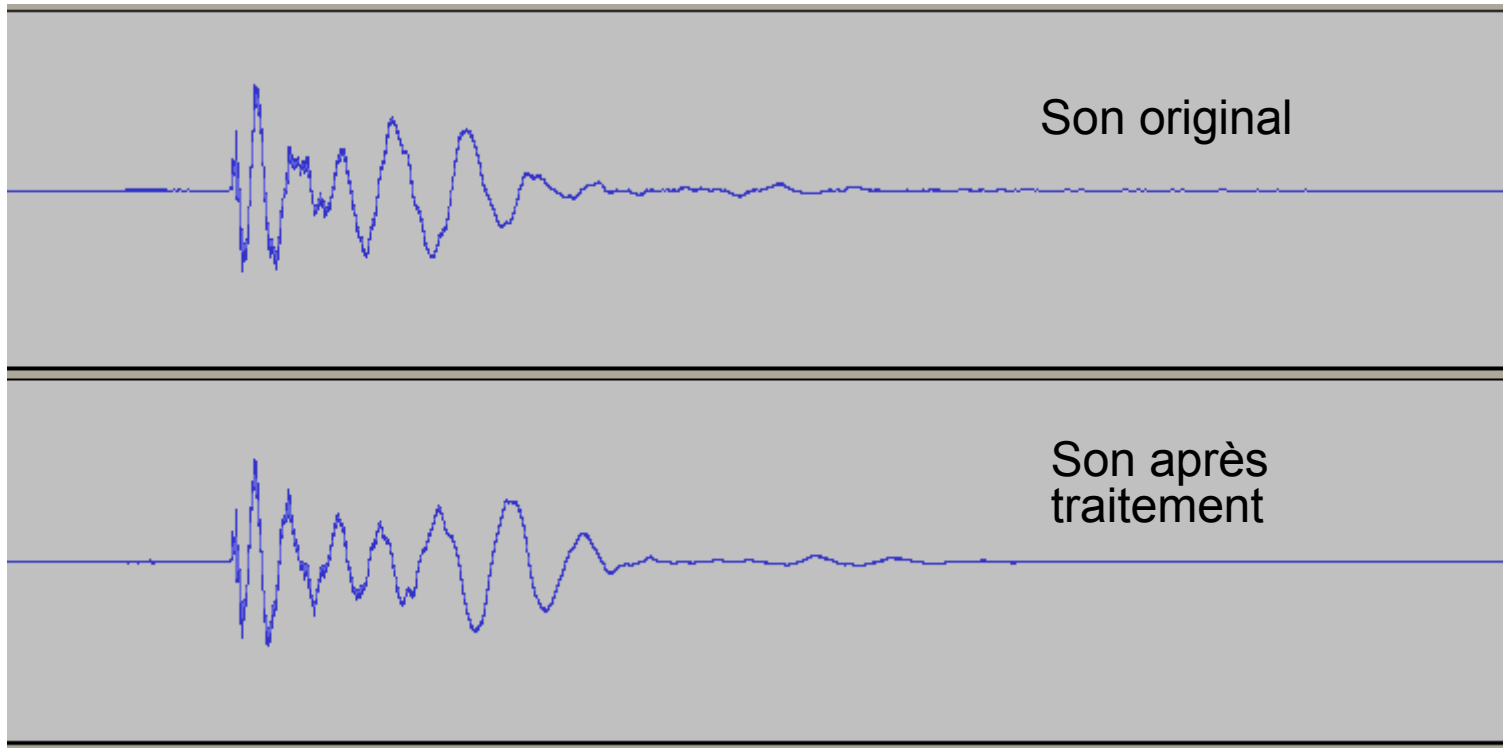
Phase & retard de groupe

Simulation de cet effet en utilisant un filtre passe-tout du 2ème ordre 30Hz Q= 1.5



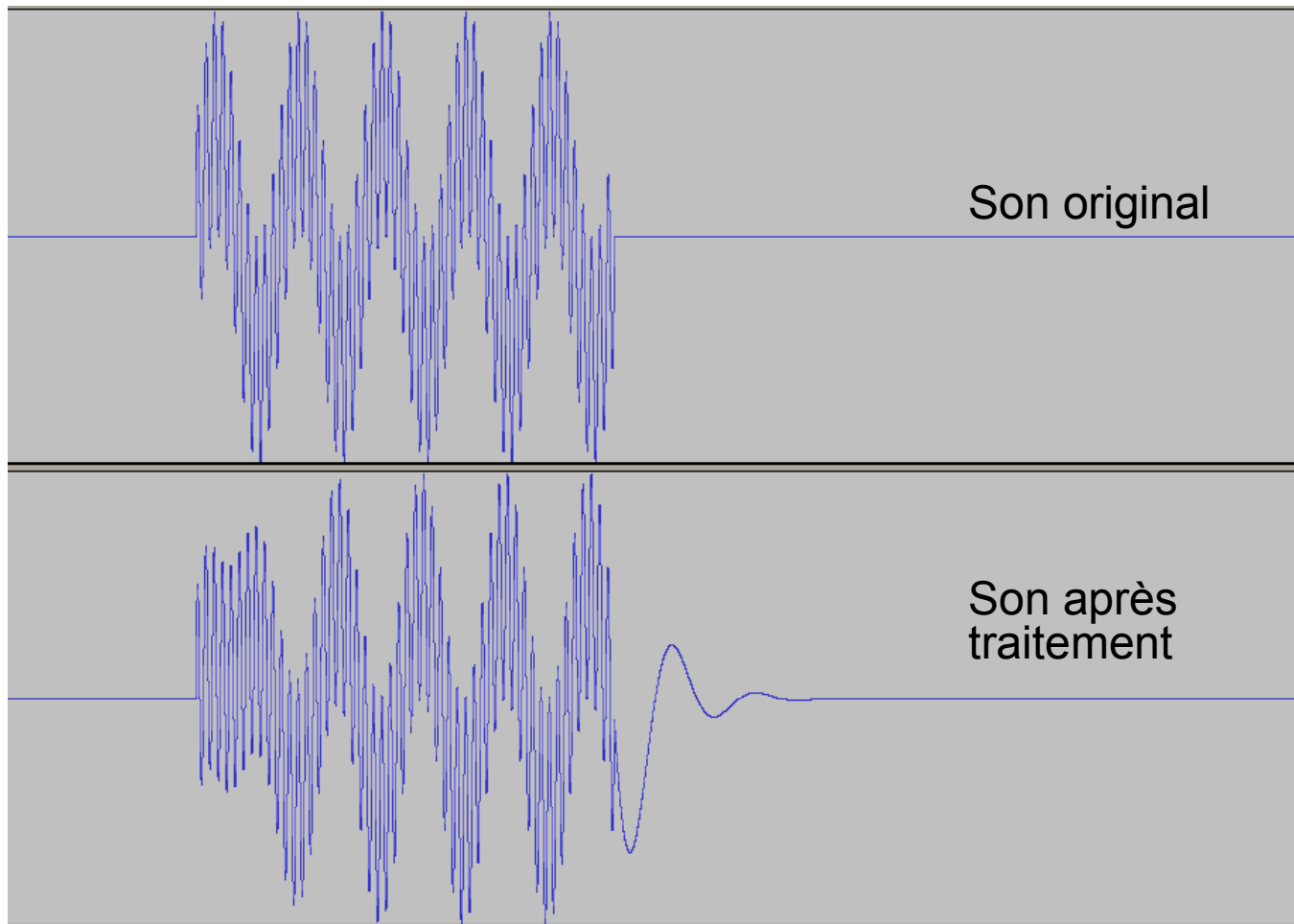
Phase & retard de groupe

Passe-tout 2ème ordre 30Hz Q= 1.5 appliqué à un enregistrement d'un coup de grosse caisse

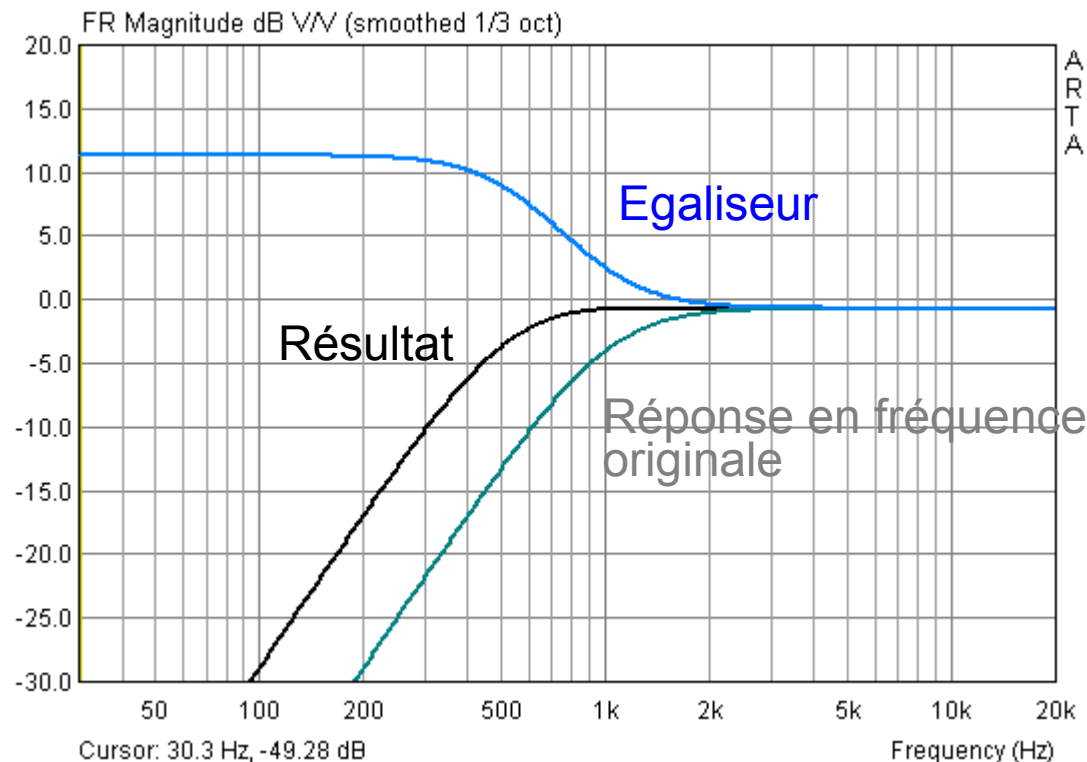


Phase & Group delay

Passe-tout du 2ème ordre 50Hz Q= 1.5 appliqué
à un burst de 100ms de 50Hz + 500Hz

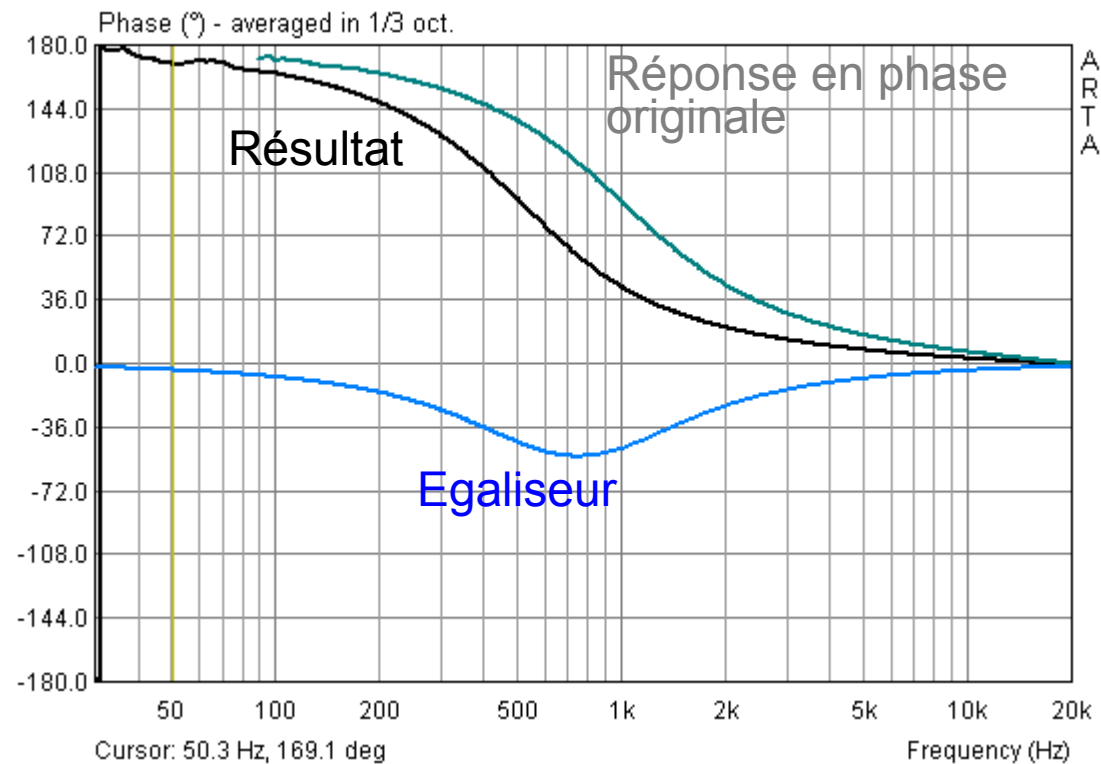


Transformée de Linkwitz et égalization similaire d'un caisson clos



Ici, l'égaliseur est un low-shlef 2ème ordre

Transformée de Linkwitz et égalization similaire d'un caisson clos

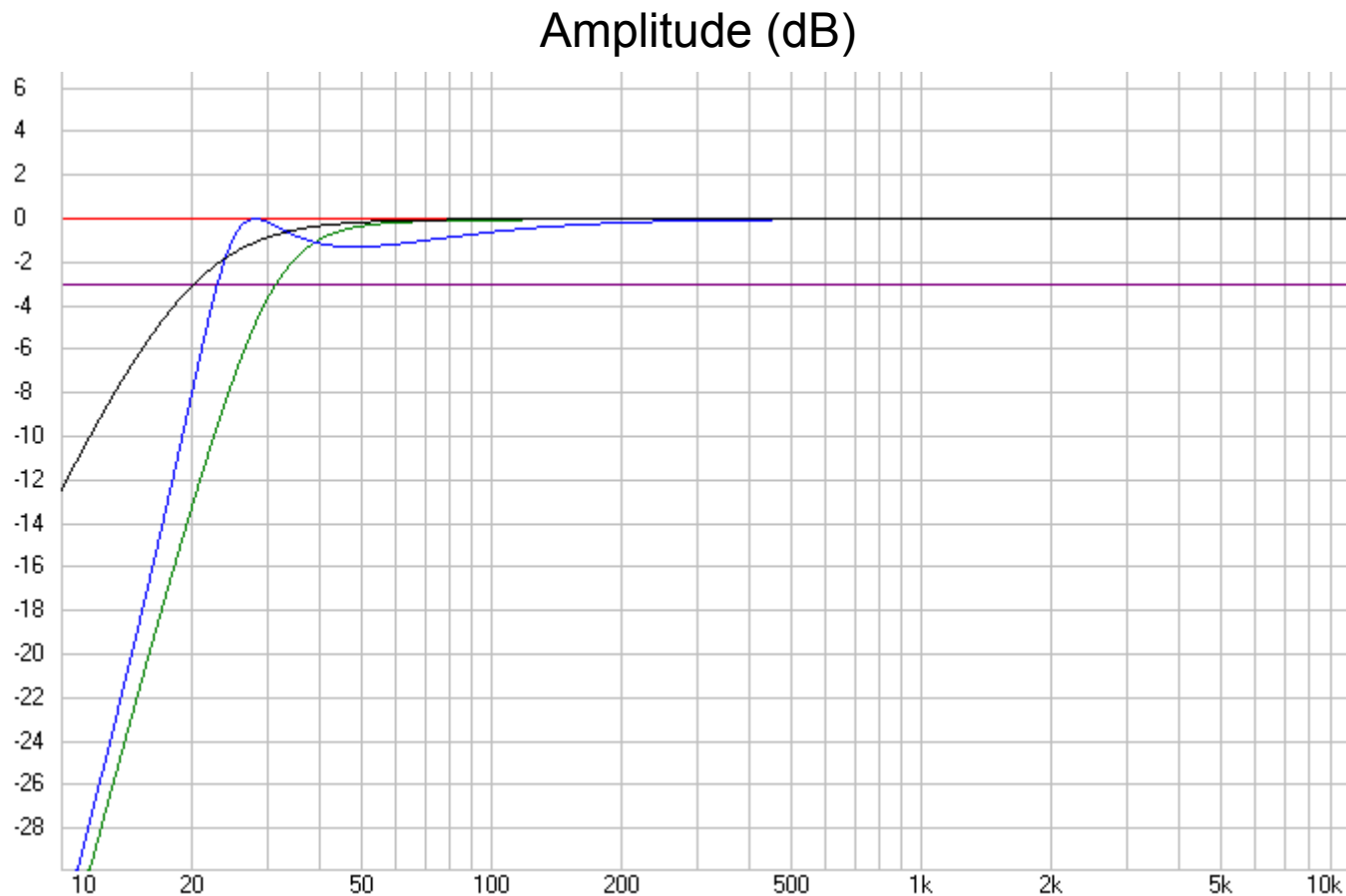


Haut-parleur Peerless XXLS10 dans différents types de caissons

Bass reflex Quasi Butterworth (42l; 28Hz)

Bass reflex extended low (100l; 25Hz)

Close box + Linkwitz transform



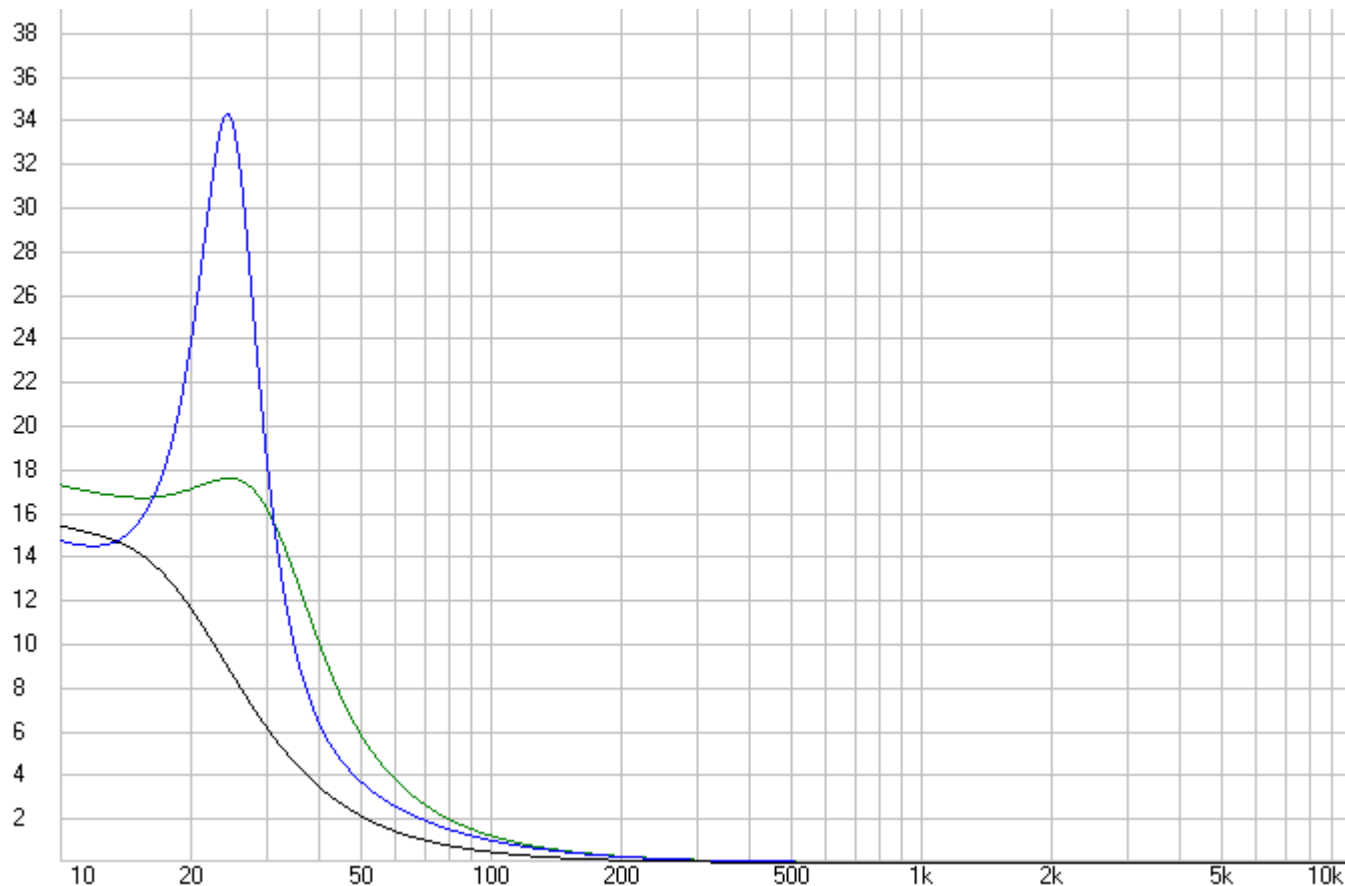
Haut-parleur Peerless XXLS10 dans différents types de caissons

Bass reflex Quasi Butterworth (42l; 28Hz)

Bass reflex extended low (100l; 25Hz)

Close box + Linkwitz transform

Retard de groupe (ms)

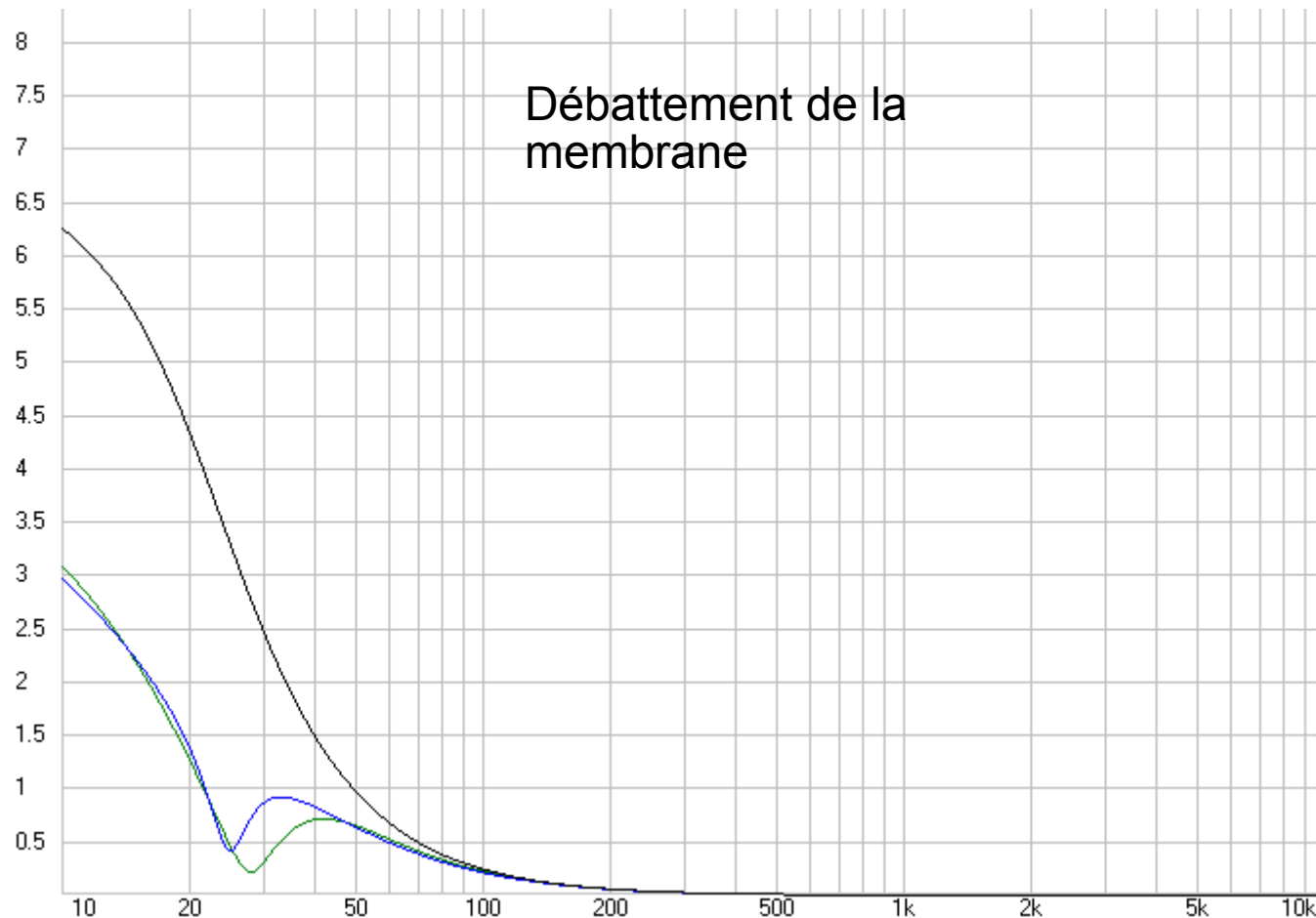


Haut-parleur Peerless XLS10 dans différents types de caissons

Bass reflex Quasi Butterworth (42l; 28Hz)

Bass reflex extended low (100l; 25Hz)

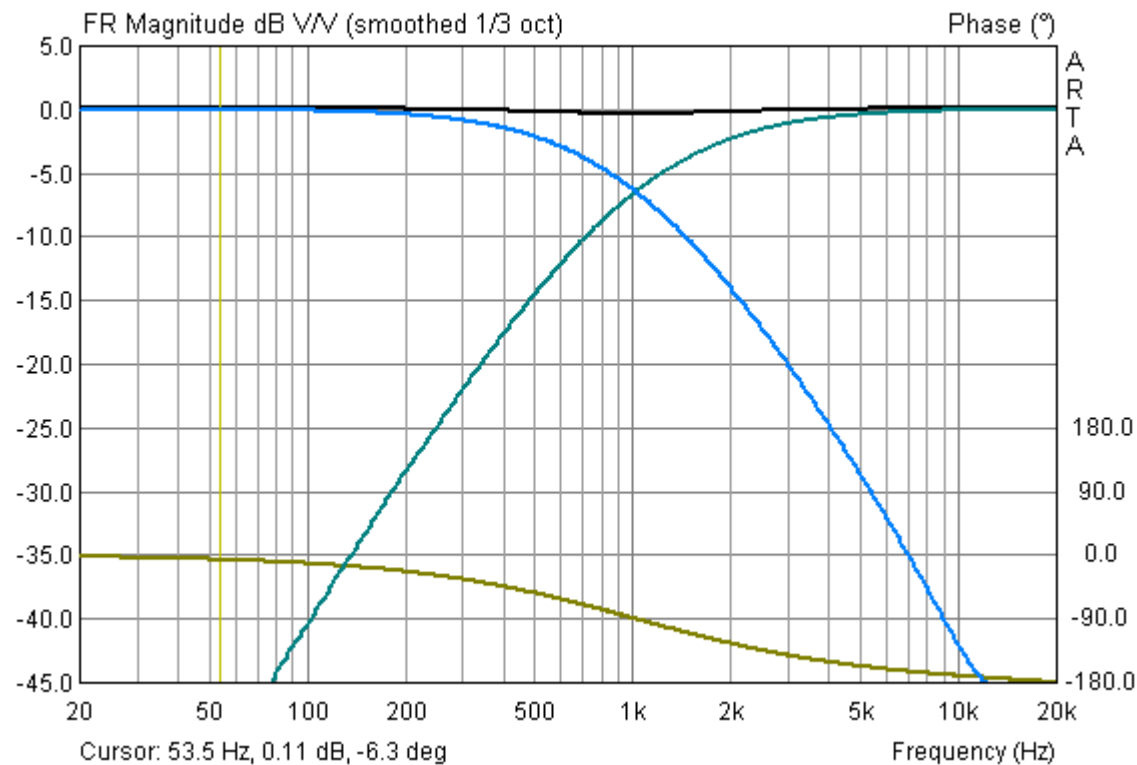
Close box + Linkwitz transform



Distortion de phase du filtre

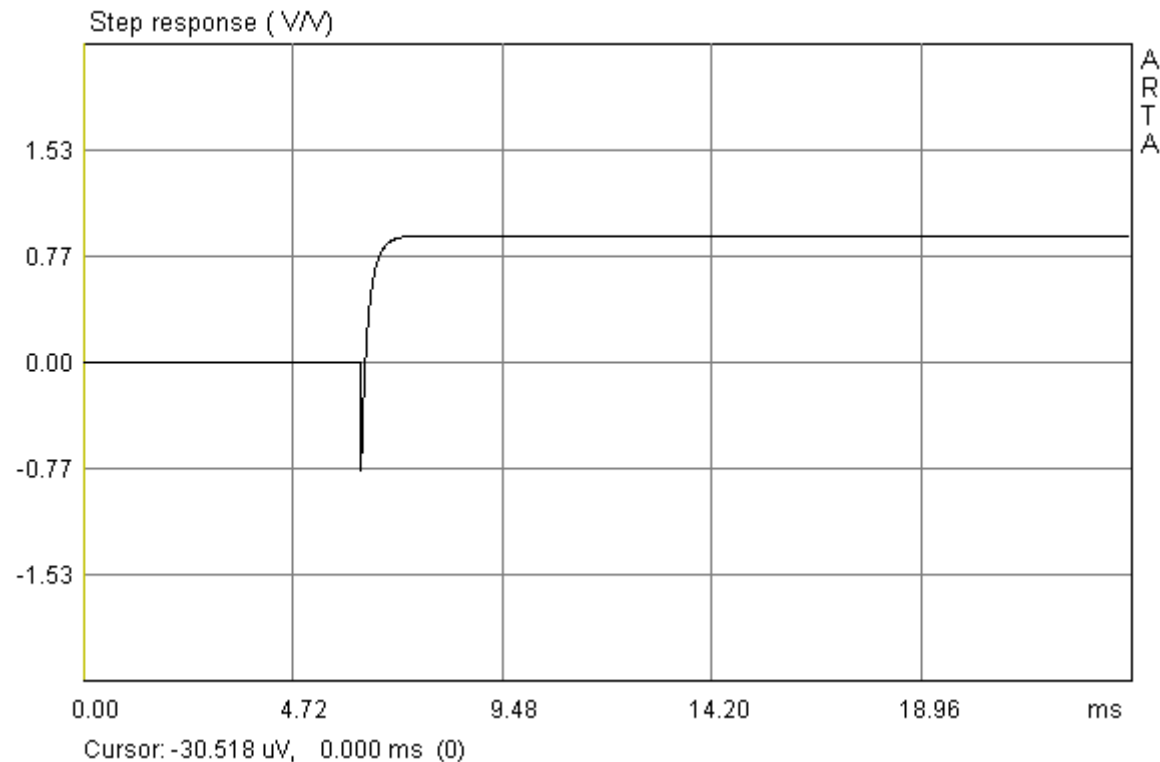
- Exemple avec un filtre Linkwitz-Riley du 2^{ème} ordre

Inversion de polarité



Distortion de phase du filtre

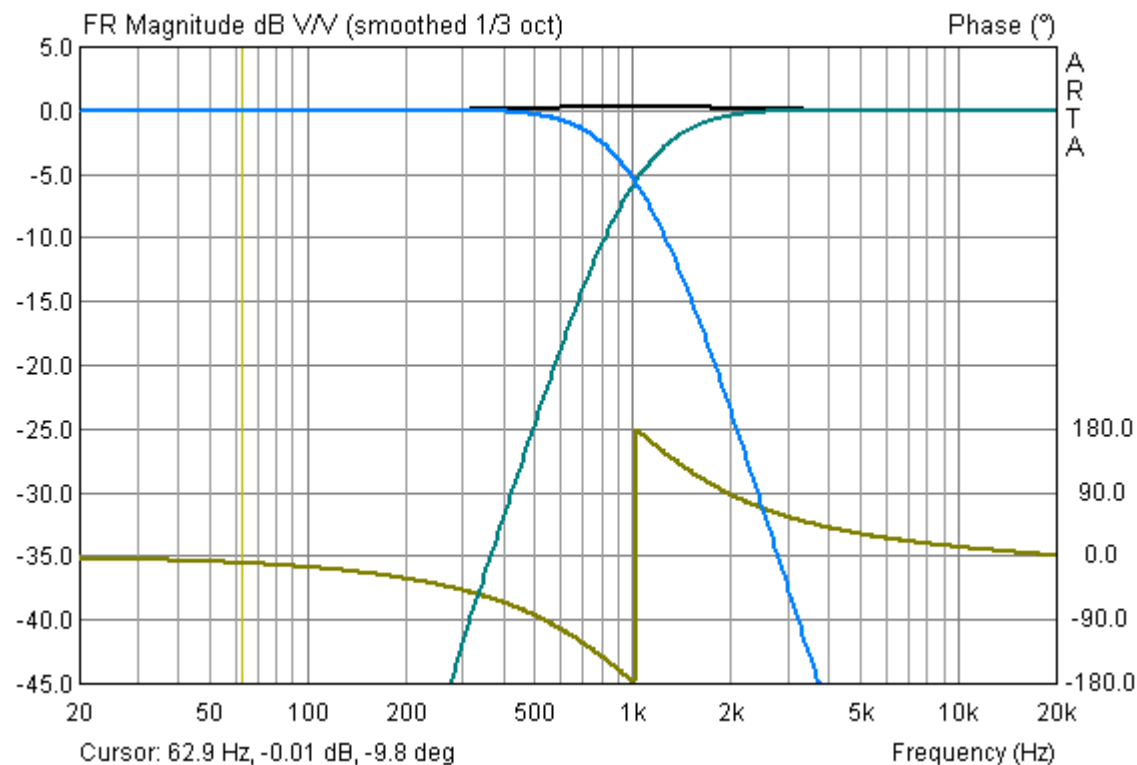
- Exemple avec un filtre Linkwitz-Riley du 2^{ème} ordre



Distortion de phase du filtre

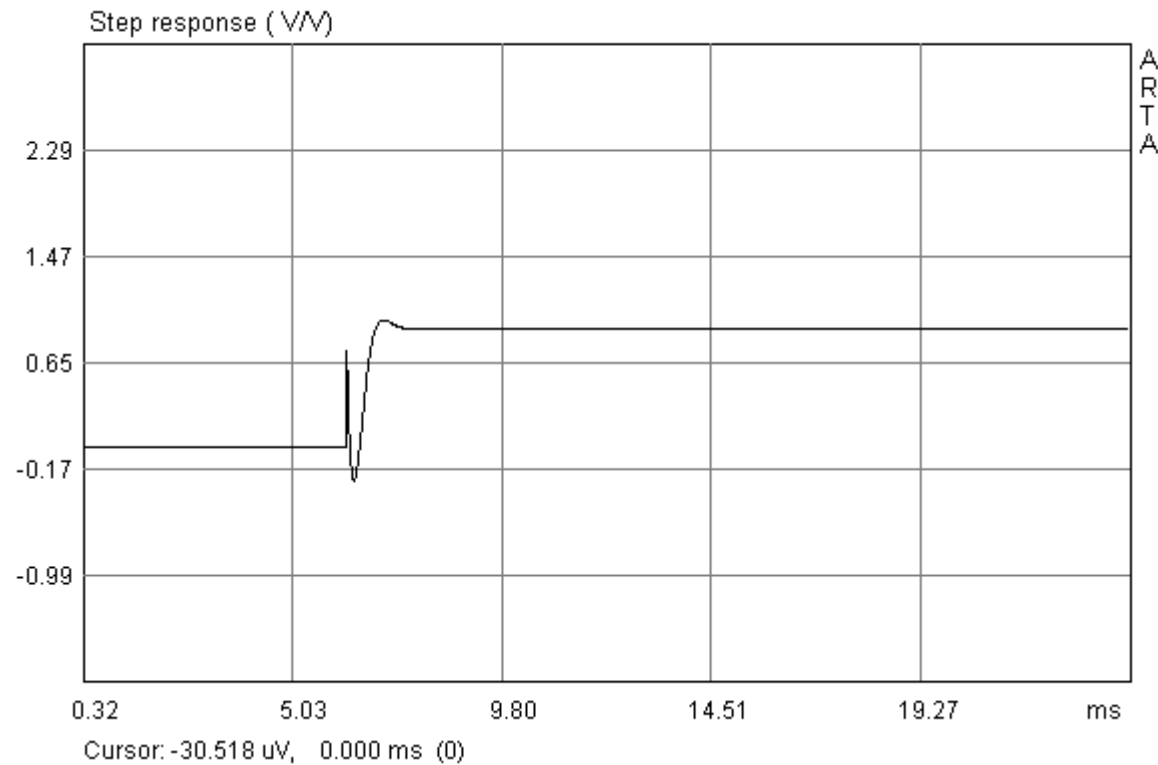
- Exemple avec un filtre Linkwitz-Riley du 4^{ème} ordre

Pas d'inversion de polarité



Distortion de phase du filtre

- Exemple avec un filtre Linkwitz-Riley du 4^{ème} ordre



Distortion de phase du filtre

- Linéarisation de la phase en utilisant la méthode S.Harsch:

1. Choisir une f_c où la phase des haut-parleurs est linéaire
2. Passe-bas: Butterworth 4^{ème} ordre calculé pour f_c
3. Passe-haut: Bessel 2^{ème} ordre calculé pour f_c
4. Insérer un retard constant à la section passe-haut calculé par:
 $t = (1/f_c) * 0.5$
5. Pas d'inversion de polarité

Exemple pour $f_c = 1\text{kHz}$:

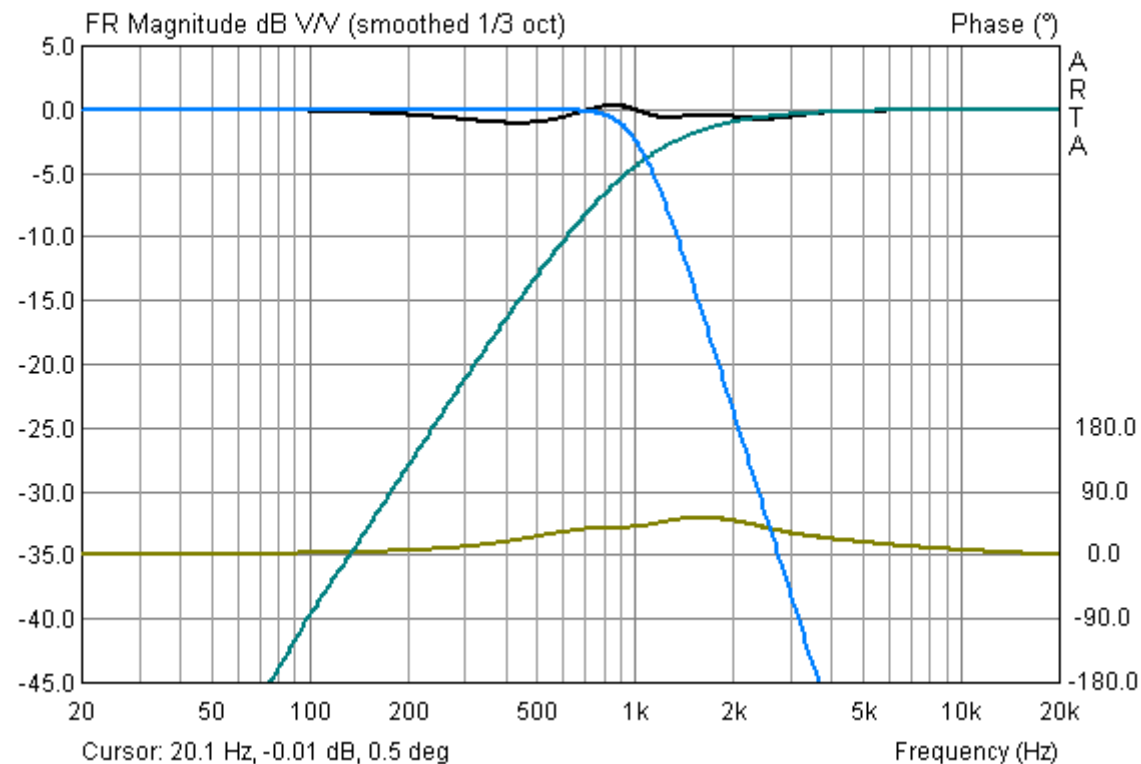
Passe-bas = Butterworth 4^{ème} ordre 1kHz

Passe haut = Bessel 2^{ème} ordre 1kHz

Retard sur la section passe haut = $(1/1000) * 0.5 = 0.5\text{ms}$

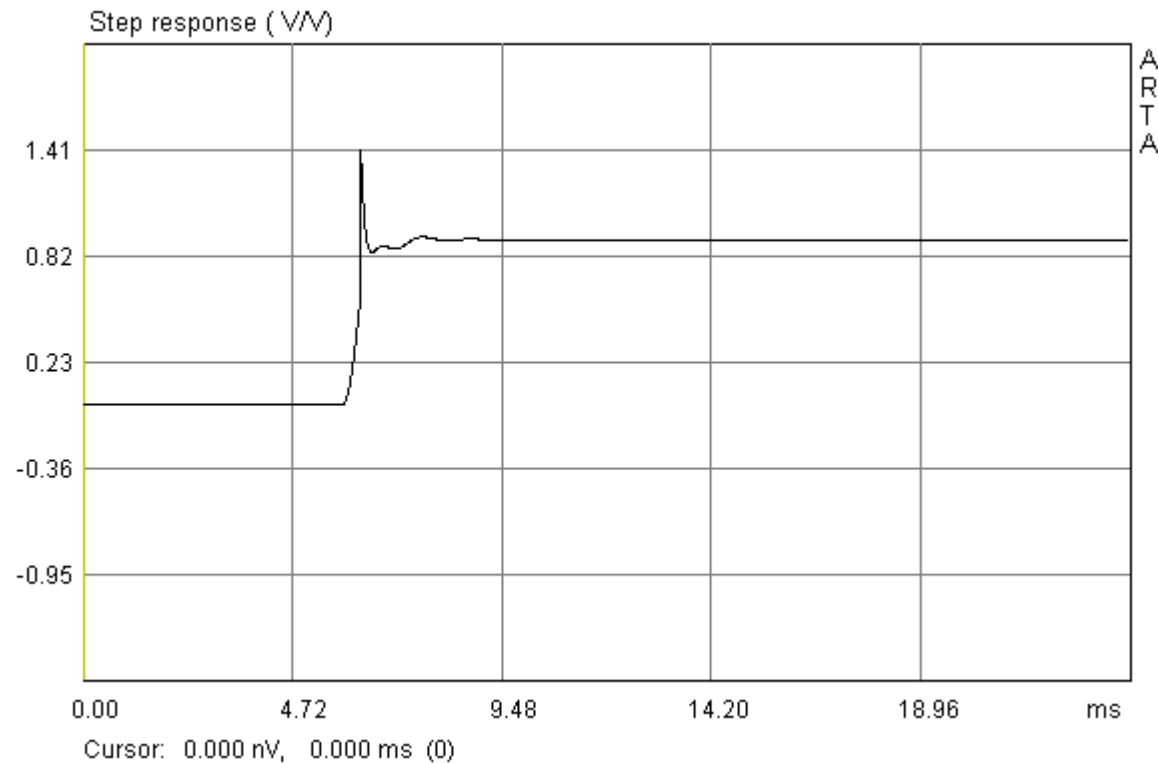
Distortion de phase du filtre

- Linéarisation de la phase en utilisant la méthode S.Harsch:



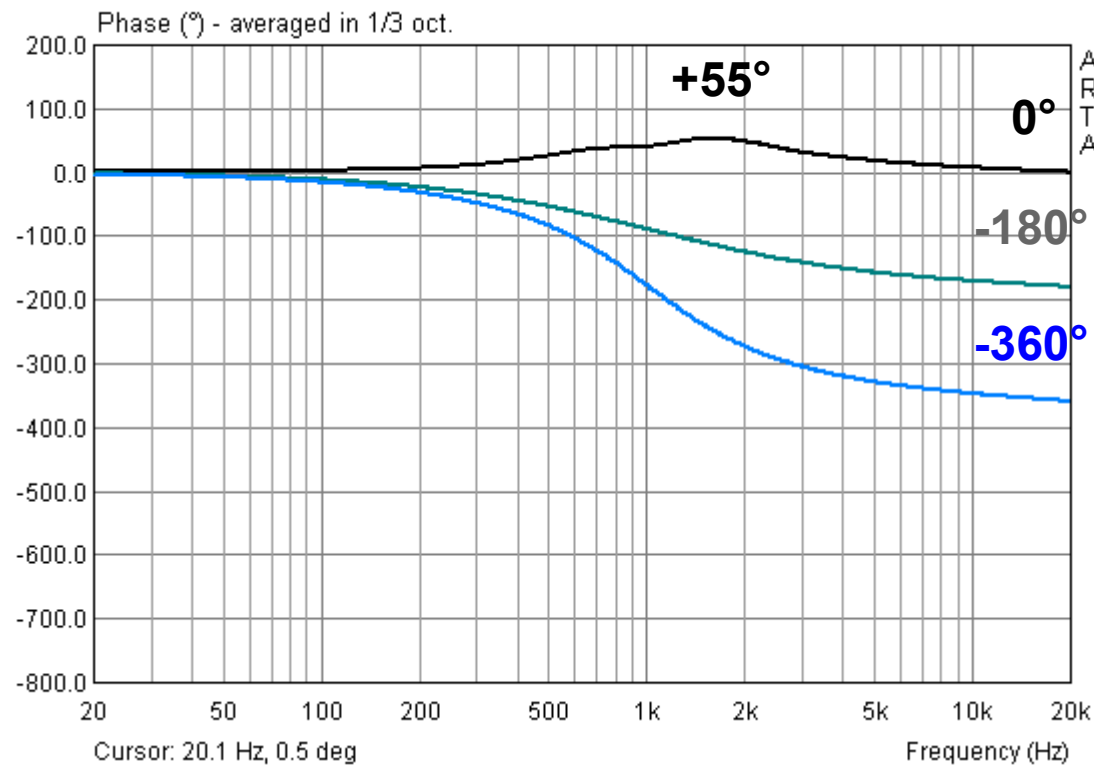
Distortion de phase du filtre

- Linéarisation de la phase en utilisant la méthode S.Harsch:



Distortion de phase du filtre

- Linéarisation de la phase en utilisant la méthode S.Harsch
- Comparaison avec des filtres Linkwitz-Riley 2^{ème} et 4^{ème} ordre



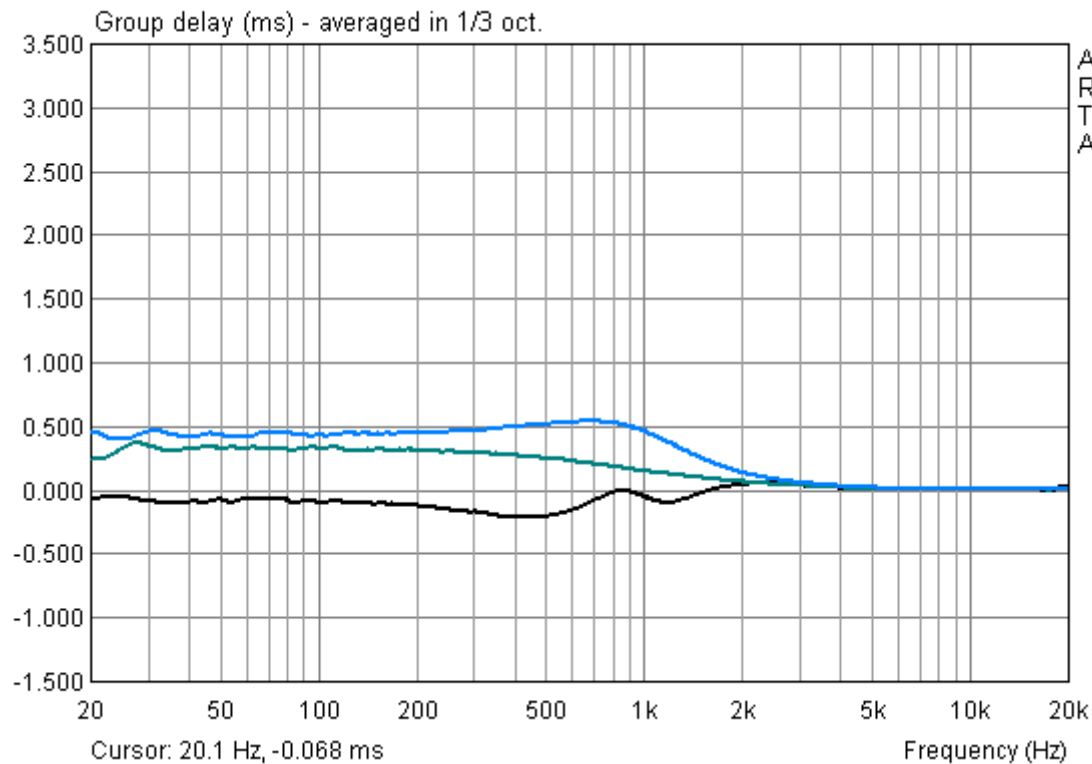
Méthode
S.Harsch

Linkwitz-Riley 2nd

Linkwitz-Riley 4th

Distortion de phase du filtre

- Linéarisation de la phase en utilisant la méthode S.Harsch
- Comparaison avec des filtres Linkwitz-Riley 2^{ème} et 4^{ème} ordre



Linkwitz-Riley 4th

Linkwitz-Riley 2nd

Méthode
S.Harsch

Distortion de phase du filtre

- Linéarisation de la phase en utilisant la méthode S.Harsch:

Avantages:

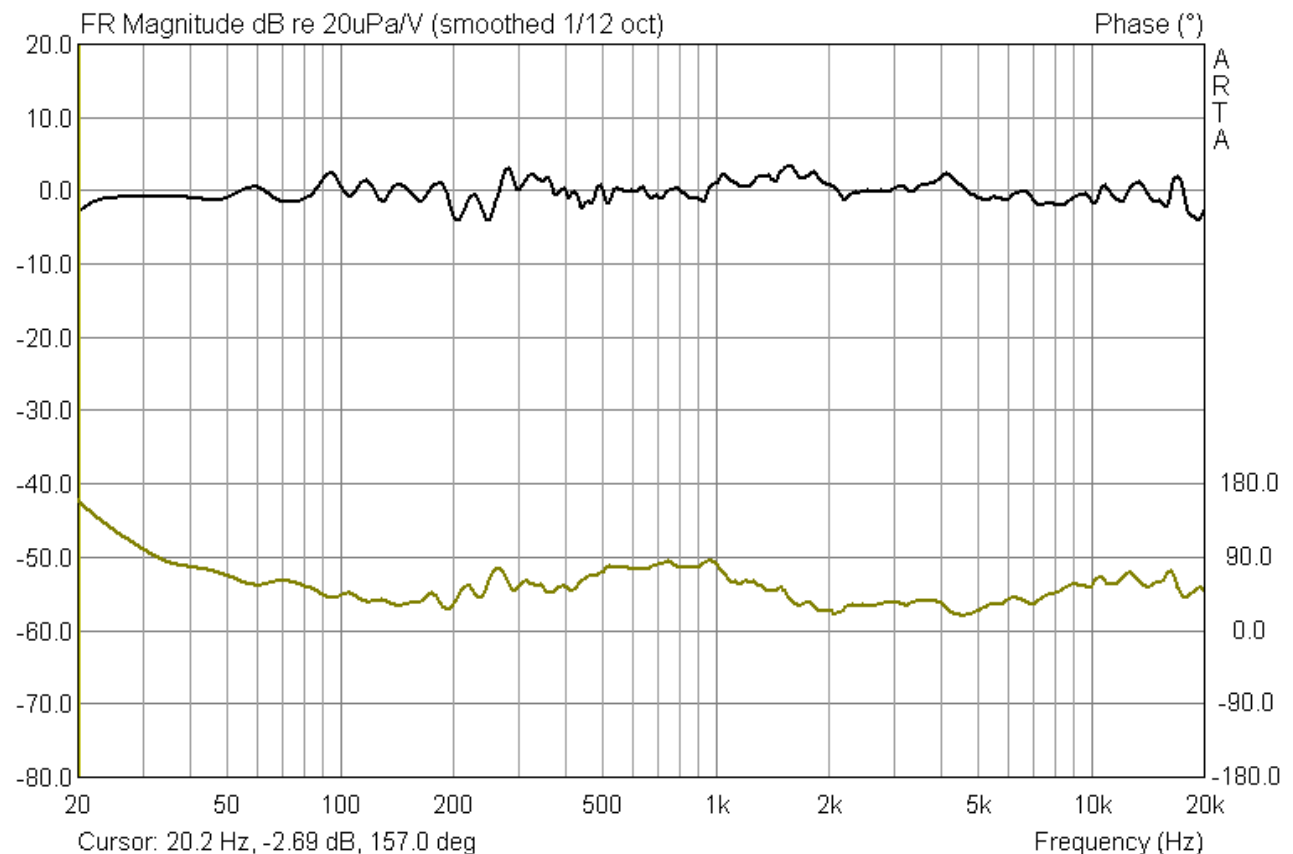
- Utilisable avec n'importe quel filtre digital ayant la possibilité de configurer des filtres Butterworth et Bessel et d'ajouter un retard constant
- Utilisable sur des systèmes IIR existants par un simple paramétrage
- Utilisable avec des filtres passifs ou des filtres actifs analogiques si le retard peut être implémenté par un décalage physique des haut-parleurs.
- Utilise peu de ressources DSP
- Faible temps de latence

Désavantages:

- N'est pas un vrai filtre à phase linéaire
- Le diagramme polaire peut comporter des creux autour de la fréquence de coupure selon l'angle

Resultats

- Exemple: Système 2 voies caisson avec égalisation des basses fréquences + filtre méthode S.Harsch @ 400Hz



Utilisation de cette méthode

- L'utilisation est libre
- Si quelqu'un souhaite l'utiliser sur un produit commercial, je serais heureux de le mettre comme référence sur mon site web.
- Pour les personnes intéressées par l'audibilité des distortions de phase, j'ai fait un plug-in pour Audacity avec lequel on peut introduire un passe-tout sur un fichier audio