



AA Photo Banc de mesure DSC5023deg_cr2 W800.png

INVESTIGATIONS SUR L'ALIGNEMENT VERTICAL DES HAUT-PARLEURS

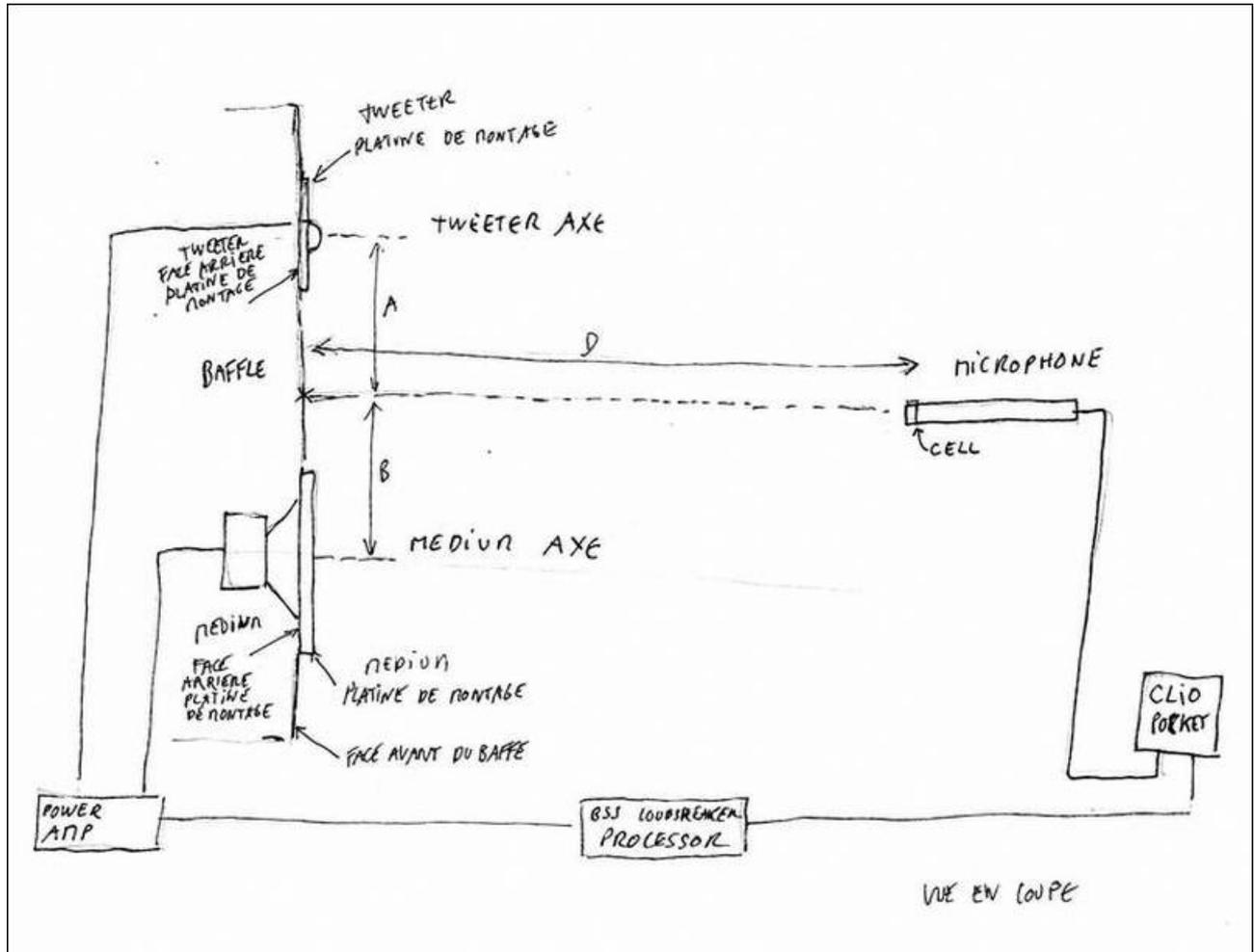
Forr, 10 mars 2017.

Document provisoire

Ce document présente une série de mesures destinées à établir la position des plans d'émission de deux haut-parleurs fixés l'un au dessus de l'autre sur la face avant d'une enceinte et de procéder à ce que l'on appelle leur alignement.

Il a été conçu pour pouvoir être rapidement parcouru pour en avoir une vue d'ensemble avant de prendre connaissance des détails. Les fichiers PDF et les programmes permettant de les lire s'avèrent les plus adaptés à cette fonction, équivalente au feuilletage de livres sur support papier.

Comme souvent aujourd'hui avec les tests de matériel de reproduction sonore, la précision obtenue dépasse de loin les capacités de discernement que l'on accorde habituellement à la perception auditive.



AB Schema Banc de mesure.JPG

Les axes des haut-parleurs sont parallèles. Suivant les mesures, le micro peut être placé soit dans l'axe de l'un ou l'autre des haut-parleurs soit sur l'axe parallèle situé à égale distance des axes des haut-parleurs.

Ce plan qui accueille la face arrière de la platine de montage des haut-parleurs sert de référence géométrique dans l'espace.

Pour la première série d'essais, les haut-parleurs ont été choisis pour présenter une large bande passante et une résonance de fréquence assez éloignée de celle de croisement des filtrages envisagés, 2.00, 2.830 et 3.48 kHz. Il s'agit :

- d'un tweeter à dôme de 25 mm de diamètre émissif ScanSpeak Illuminator D3004-660000 (abrégé en "Illum" dans le texte et les noms de fichier).
Résonance $f_c = 500$ Hz, amortissement $Q_{tc} = 0,75$
- d'un medium large bande de 68 mm de diamètre émissif, ScanSpeak Discovery 8414G10 (abrégé en "Discov" dans le texte et les noms de fichier par la suite).
Résonance $f_c = 130$ Hz, $Q_{tc} = 0,9$.

La distance de séparation des axes des haut-parleurs D était 120 mm.

Les essais ont été nombreux et répétés. Il serait fastidieux d'exposer tous les résultats.

La distance D du point milieu sur la baffle à la capsule du microphone a été de 344 mm, 688 mm ou 1204 mm. Avec une vitesse de propagation du son dans l'air de 334 m/s, un son émis

en ce point atteint la capsule du microphone en 1 , 2 ou 3,5 ms. 1376 mm, 4 ms, aurait été pratique mais le local ne s'y prêtait pas.

Le système de mesure employé était Clio Pocket.

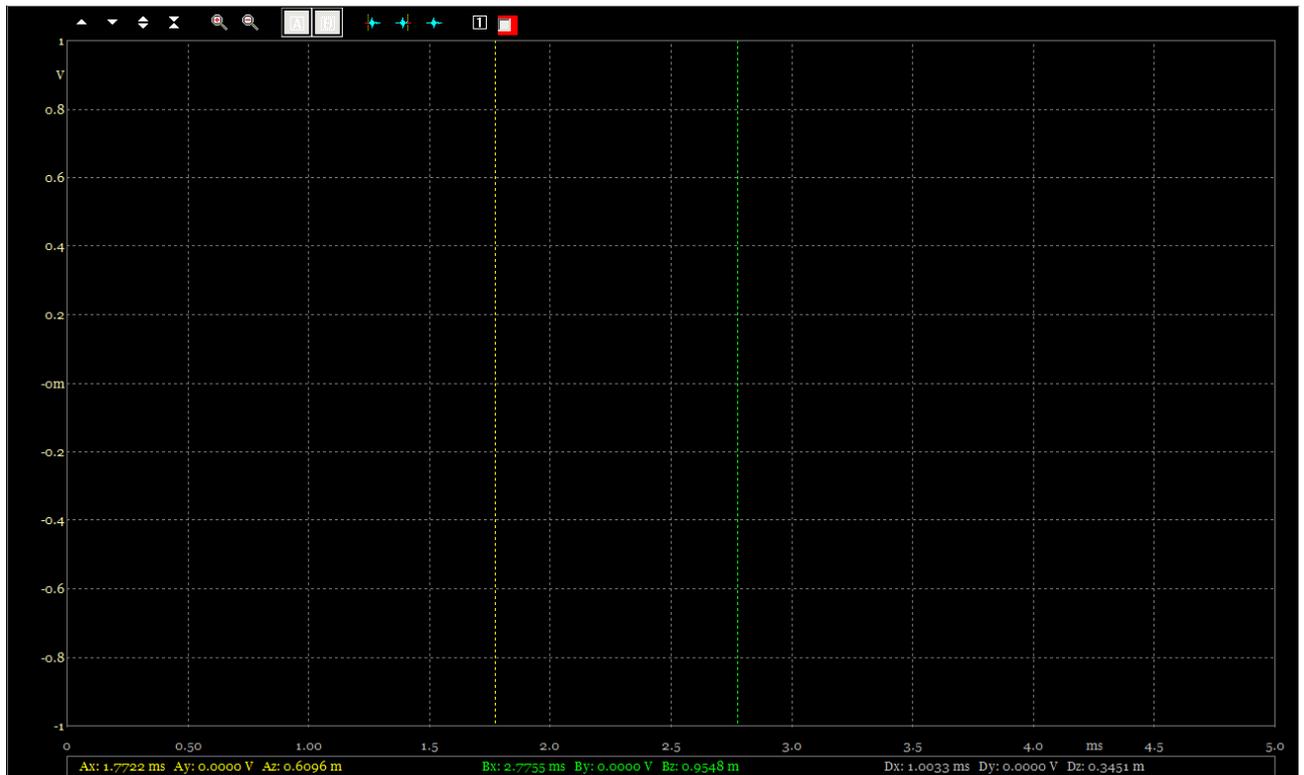
Audiomatica, son fabricant, a eu l'amabilité de communiquer la distance entre l'extrémité avant du corps du microphone et le membrane captrice, elle est de 1.2 mm. Il en a été tenu compte dans les distances ci-dessus.

Les haut-parleurs étaient alimentés par un ampli à deux voies, souvent précédé par un processeur numérique BSS dont la latence propre est $917 \mu\text{s}$ et dont l'entrée a été réglée pour ajouter $83 \mu\text{s}$ à ce retard, lui donnant un temps de propagation total de 1 ms. Dans ce cas, le retard du système de mesure était de 2 , 3 ou 4,5 ms.

Le signal appliqué aux haut-parleurs et reçu par le microphone est un "log chirp". Le programme en extrait de nombreuses caractéristiques du comportement des haut-parleurs dont celui en régime impulsionnel.

On peut ainsi travailler sur les graphiques des réponses impulsionnelles comme si on considérait qu'elles ont été établies en chambre anéchoïque avec des impulsions. C'est ce que l'on fera ici, comme cela se pratique habituellement dans les études de ce genre.

Le but est d'estimer la position théorique des plans d'émission des haut-parleurs par rapport à la face arrière de leur platine de fixation prise comme référence et, ce qui importe plus, leur position relative dont la connaissance permettra leur alignement.



AE Clio markers **1.772 ms** **2.774 ms**.png

Fenêtre de réponse aux impulsions et aux "steps" de Clio Pocket.

On a placé ici le marqueur jaune à 1.7722 ms pour faciliter le calcul du retard du marqueur vert (arbitrairement placé ici 1 ms plus tard, à 2,7755 ms) qui servira à indiquer des points remarquables sur les graphes.

En bas du graphique, est affichée la position correspondante des marqueurs, en ms et en mm (pour une vitesse de propagation dans l'air du son de 344 ms/s) ainsi que leur différence en blanc.

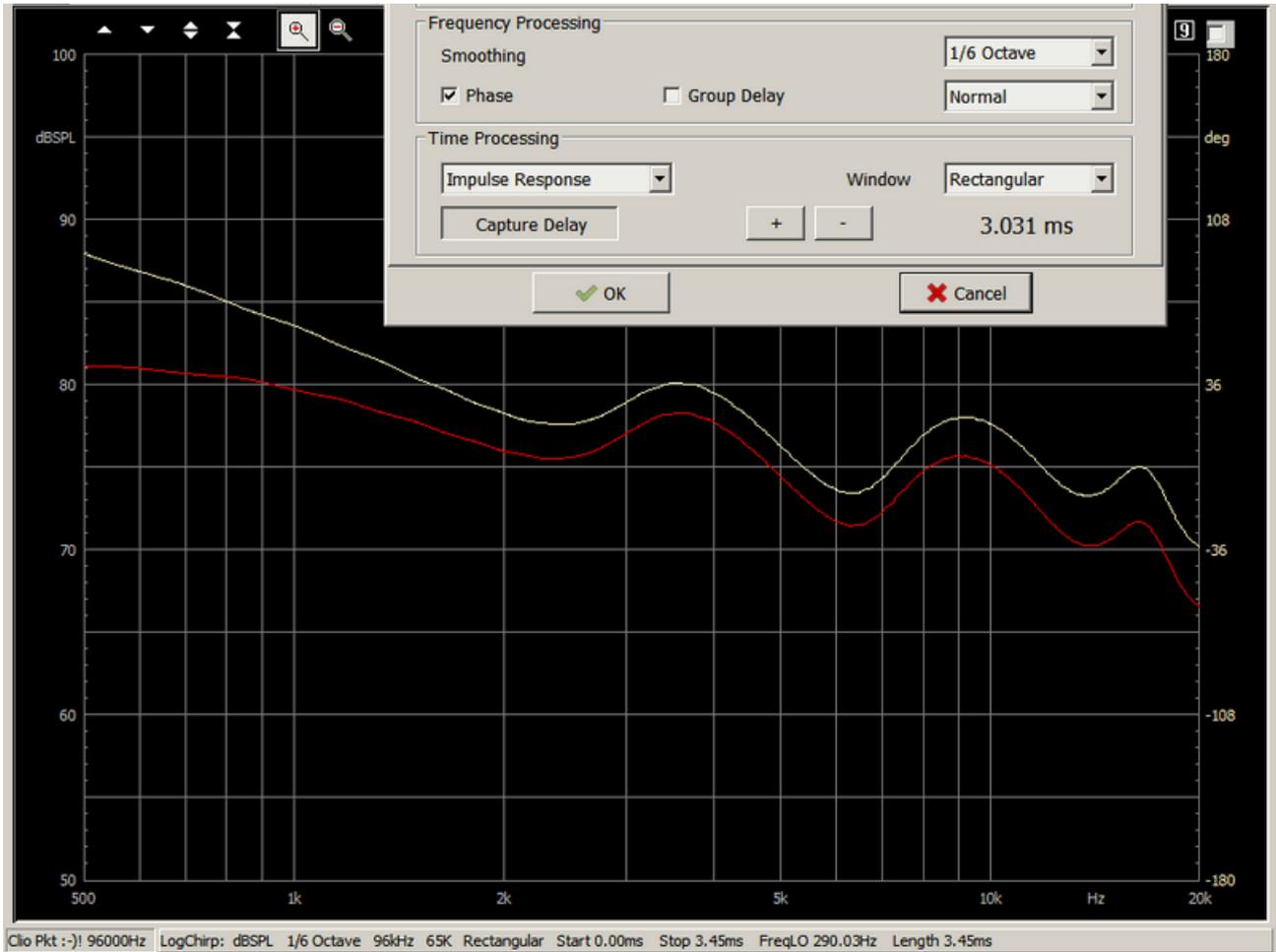
Mesures relatives au tweeter Illum

→



Opération de fenêtrage.

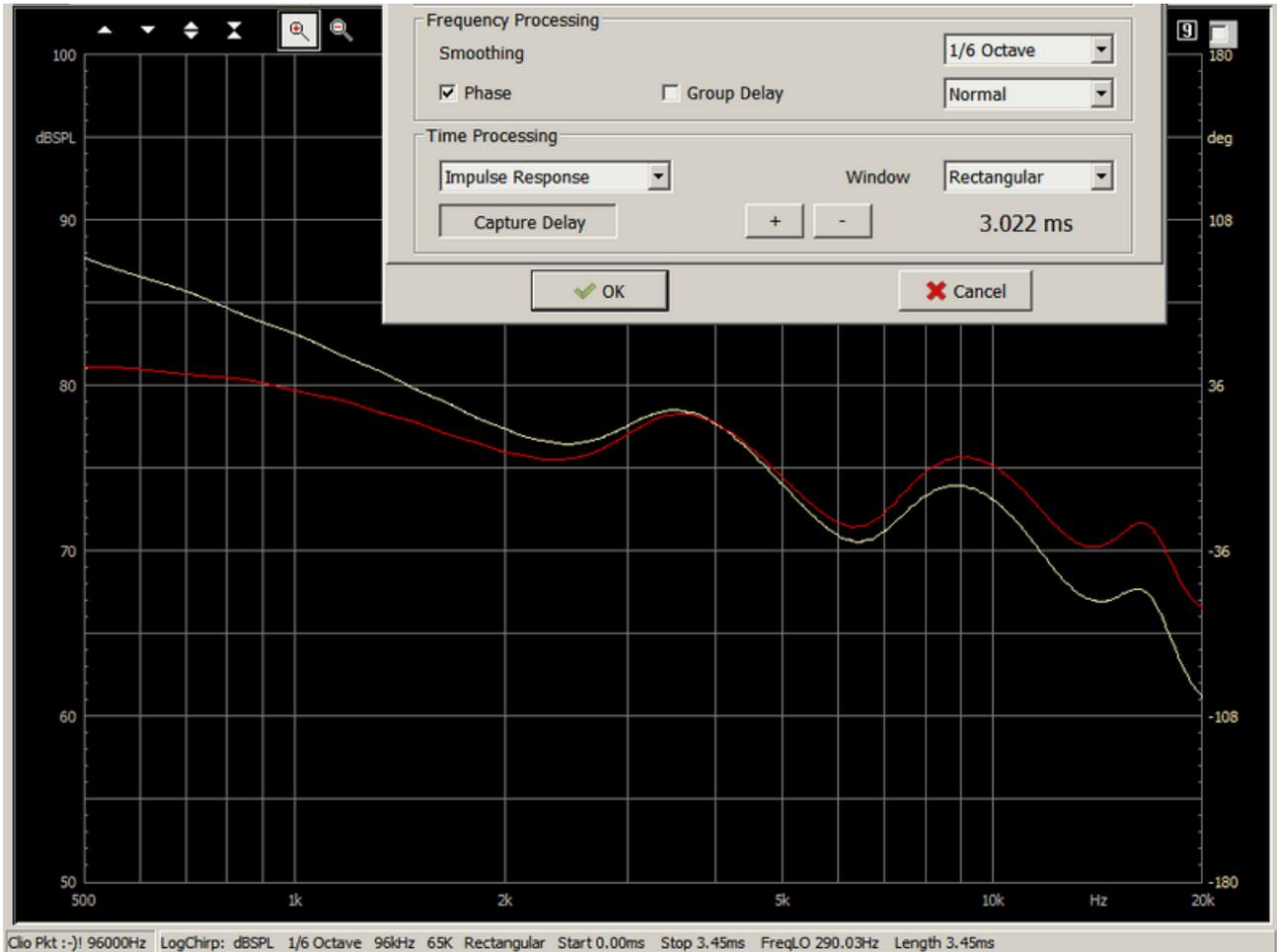
Le curseur jaune est placé avant les perturbations. Seule la portion en jaune, à gauche du curseur sera prise en compte dans les graphes relatifs au haut-parleur.



BD 025 688-60 mm Illum **3.031 ms** capd.png

Opération de "capture delay".

La valeur indiquée correspond à la position temporelle du pic de la réponse impulsionnelle du tweeter, ici 3.031 ms, comme on le verra plus loin, image BH.

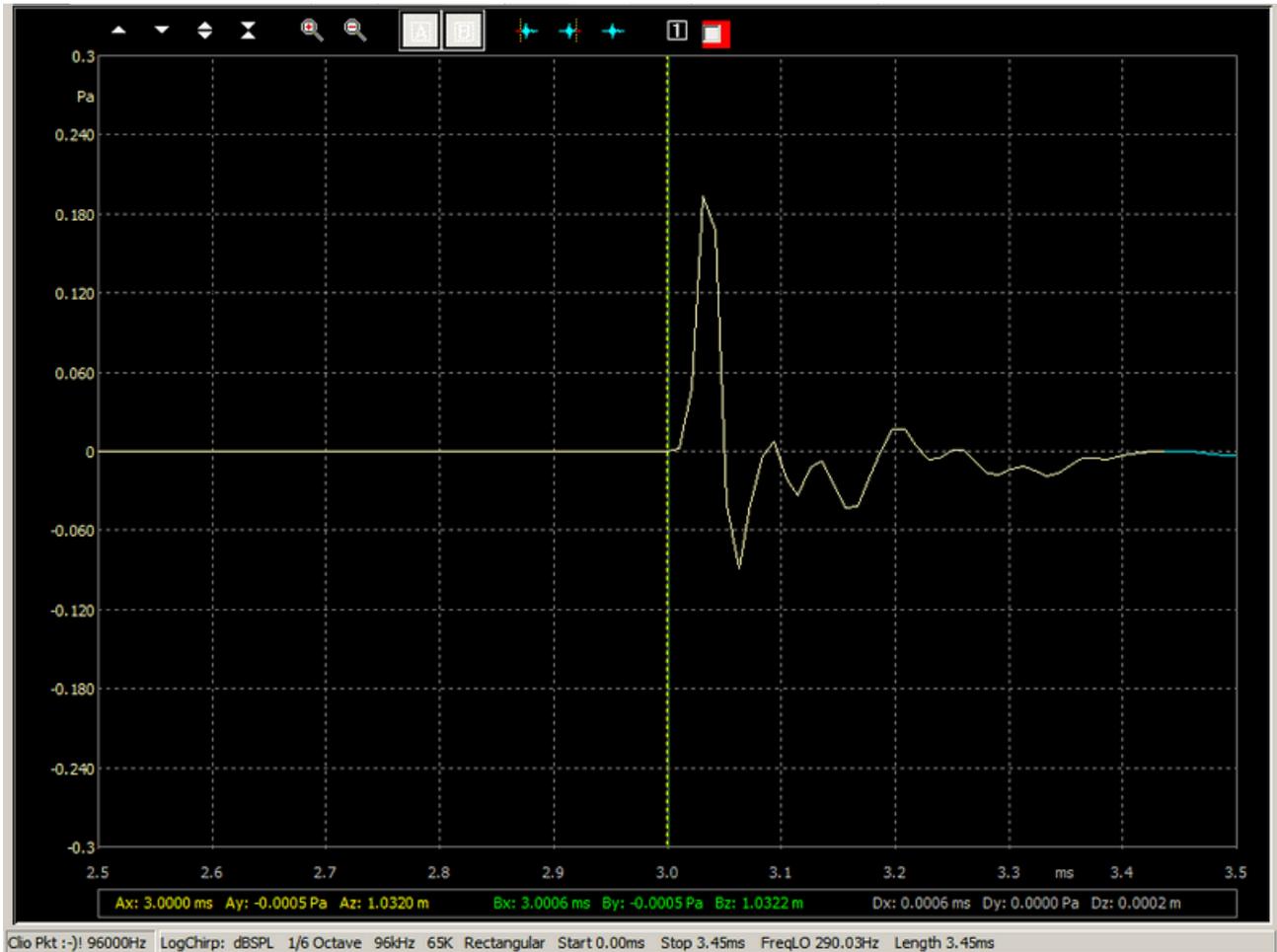


BE 025 688-60 mm Illum **3.022 ms** phit.png

Estimation du retard du haut-parleur par la méthode de la phase minimale (retard appelé ici "phit").

On agit sur la courbe de phase obtenue précédemment lors de l'opération "Capture delay" en cliquant sur les touches [+] et [-] pour obtenir la meilleure juxtaposition possible de la courbe de phase dénommée "normale" (ici en blanc) à la courbe de "phase minimale" (en rouge). Le pas de progression est 10 μ s et passe à 1 μ s quand on presse en même temps la touche "Majuscules".

Pour rappel, la phase minimale se déduit de la pente de la réponse en fréquence en supposant que les deux sont mathématiquement liées. Les haut-parleurs ont un comportement assez proche des systèmes à phase minimale.



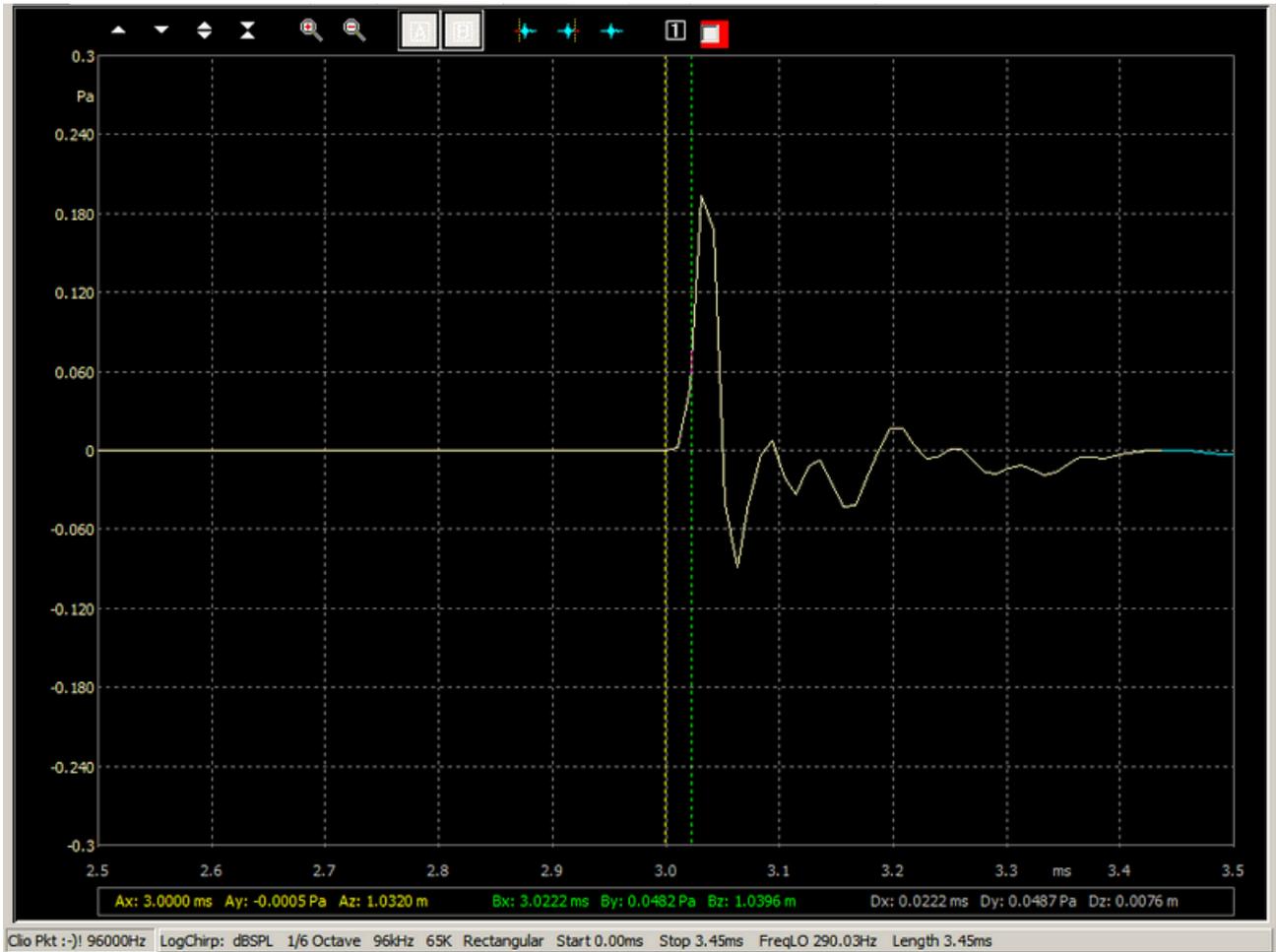
BF 025 688-60 mm Illum **3.000 ms** foot puls.png

Pied de la réponse impulsionnelle du tweeter reçue par le microphone.

La position du plan d'émission d'un haut-parleur n'est pas totalement fixe avec la fréquence. Le pied correspond au trajet le plus court parcouru par la pression sonore délivrée par le haut-parleur jusqu'au microphone.

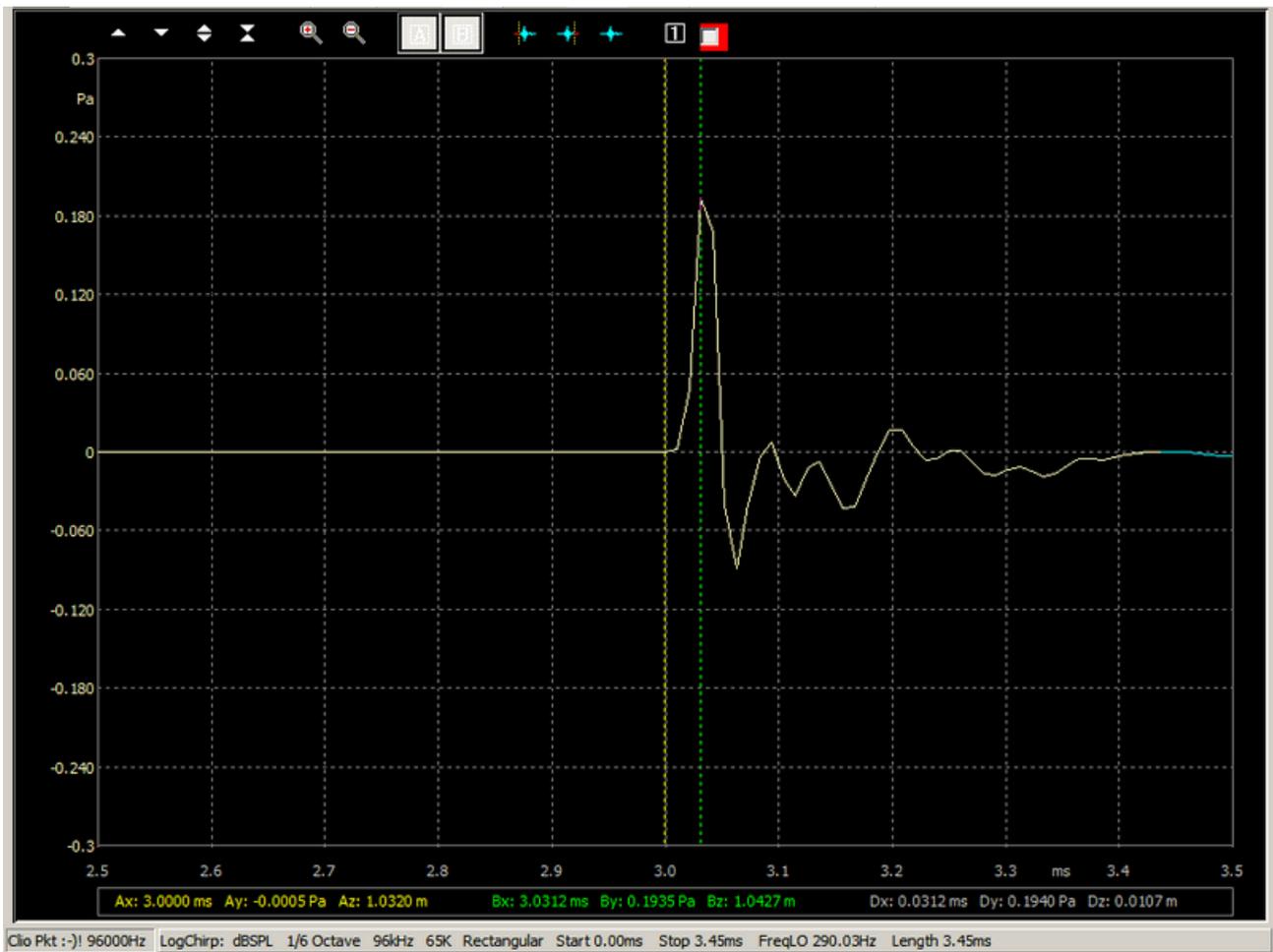
Bien qu'ici d'assez bonne fiabilité, il faut se montrer prudent vis à vis de ce type de mesure. En effet, ce qui est montré n'est pas le début du signal reçu par le microphone, mais l'émergence du signal du bruit de fond (avec un système de plus haute résolution, la ligne horizontale à 0 V serait irrégulière).

On pense souvent que l'on doit aligner les haut-parleurs de façon à faire coïncider le pied de leur réponse impulsionnelle. La présente étude vise à établir si c'est justifié.



BG 025 688-60 mm Illum 3.022 ms phit puls.png

Le marqueur de couleur verte a été placé sur le point de l'impulsion qui correspond au retard mesuré par la méthode de la phase minimale.



BH 025 688-60 mm Illum **3.031 ms** peak puls.png

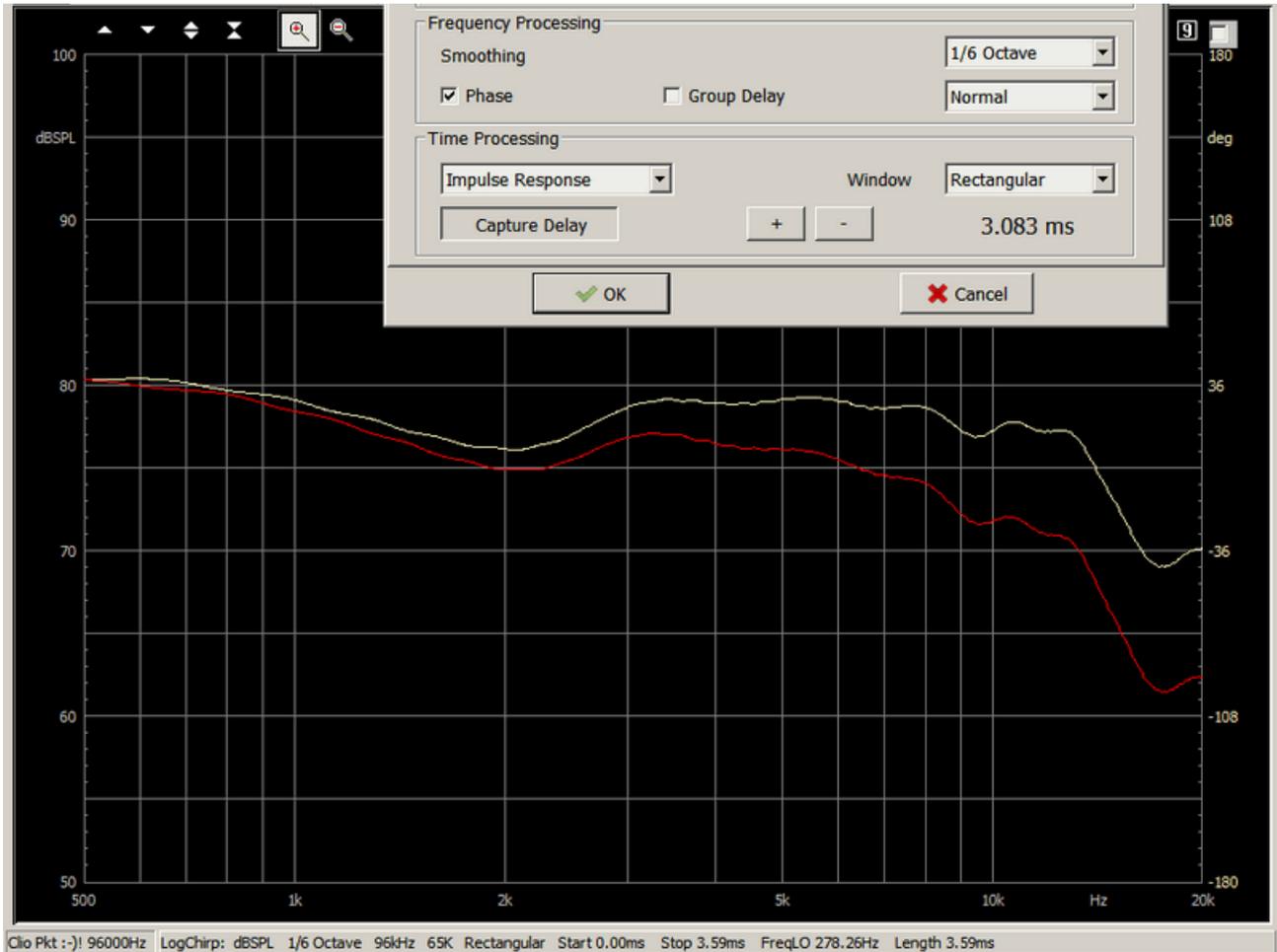
Pic de l'impulsion du tweeter.

Sa position est bien celle relevée lors de l'opération "Capture Delay".

Mesures relatives au medium Discov

Mêmes opérations que précédemment.

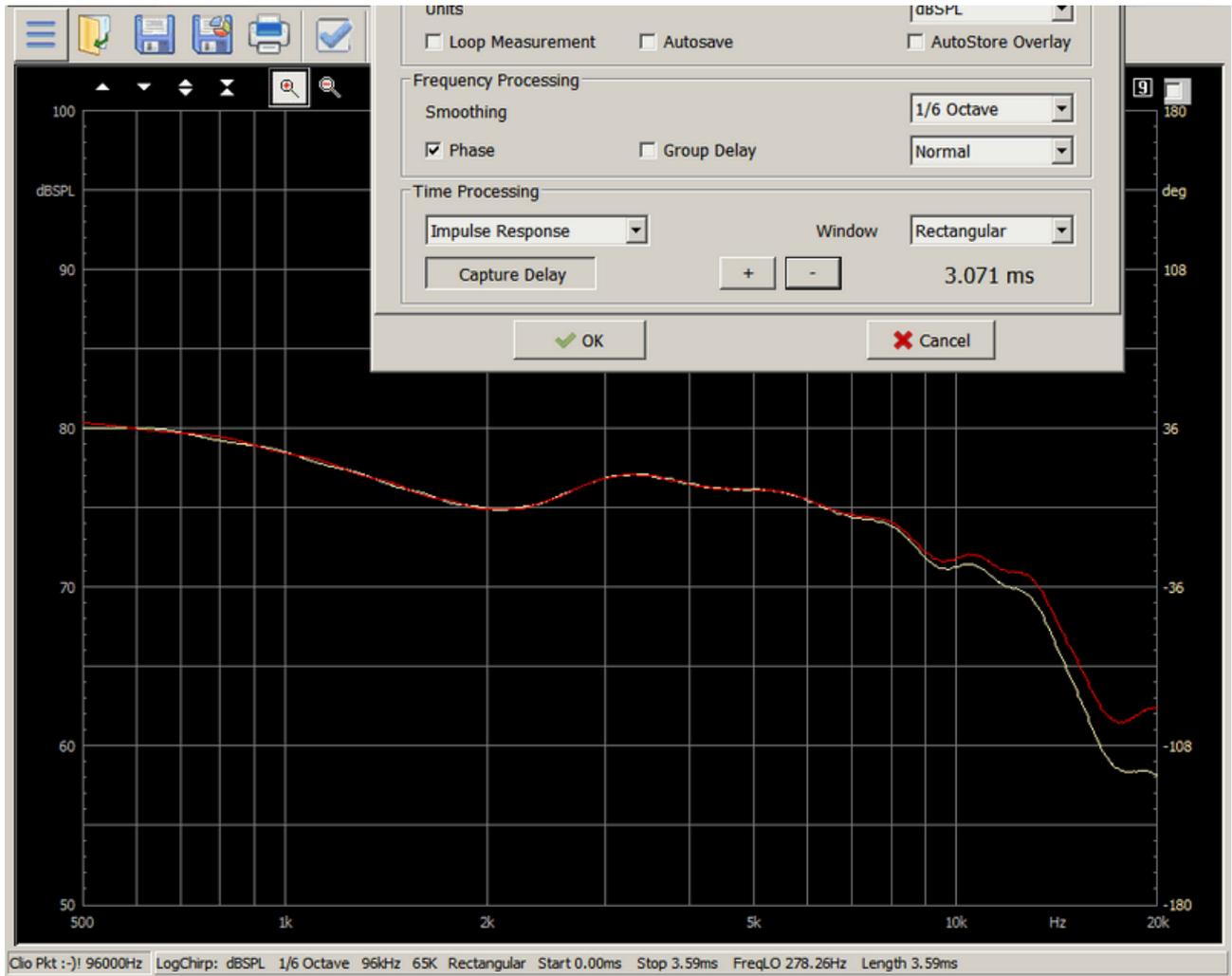
→



CD 688-60 mm 100 Discov **3.083 ms** capd.png

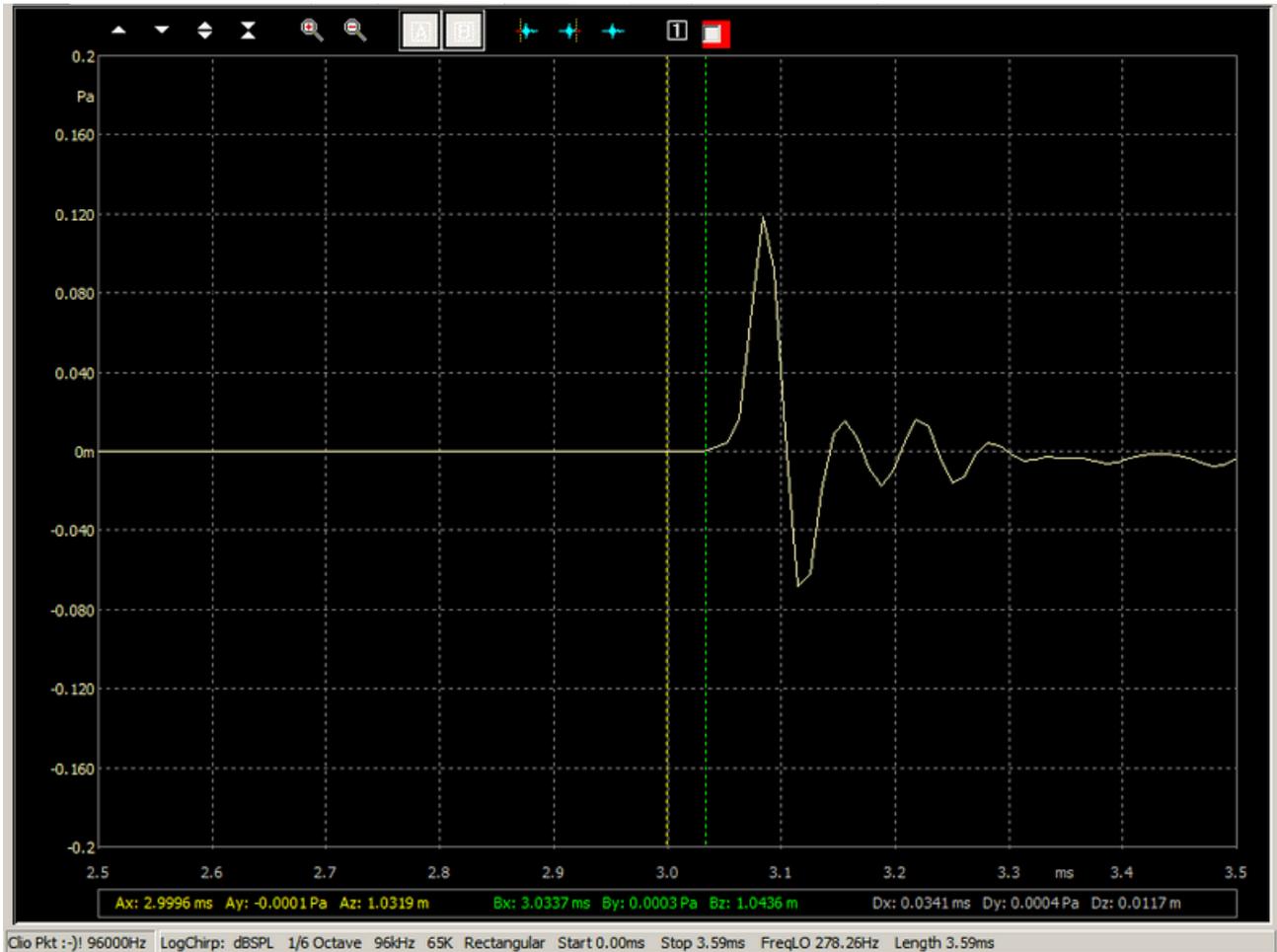
Opération de "capture delay" sur la mesure du medium.

La valeur indiquée correspond à la position temporelle du pic de la réponse impulsionnelle montrée plus loin, image CH.



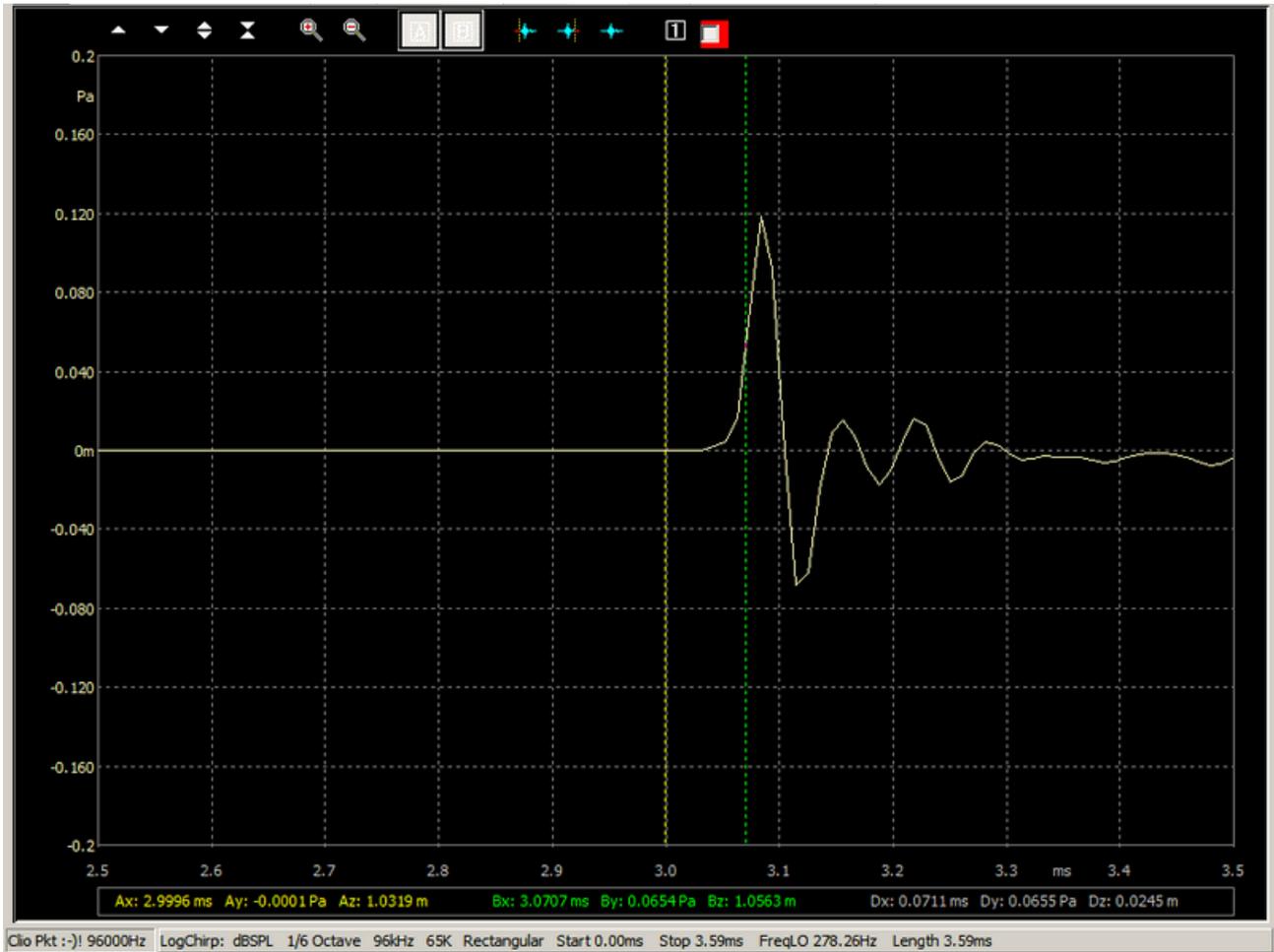
CE 688-60 mm 100 Discov **3.071 ms** phit.png

Estimation du retard du medium par la méthode de la phase minimale.

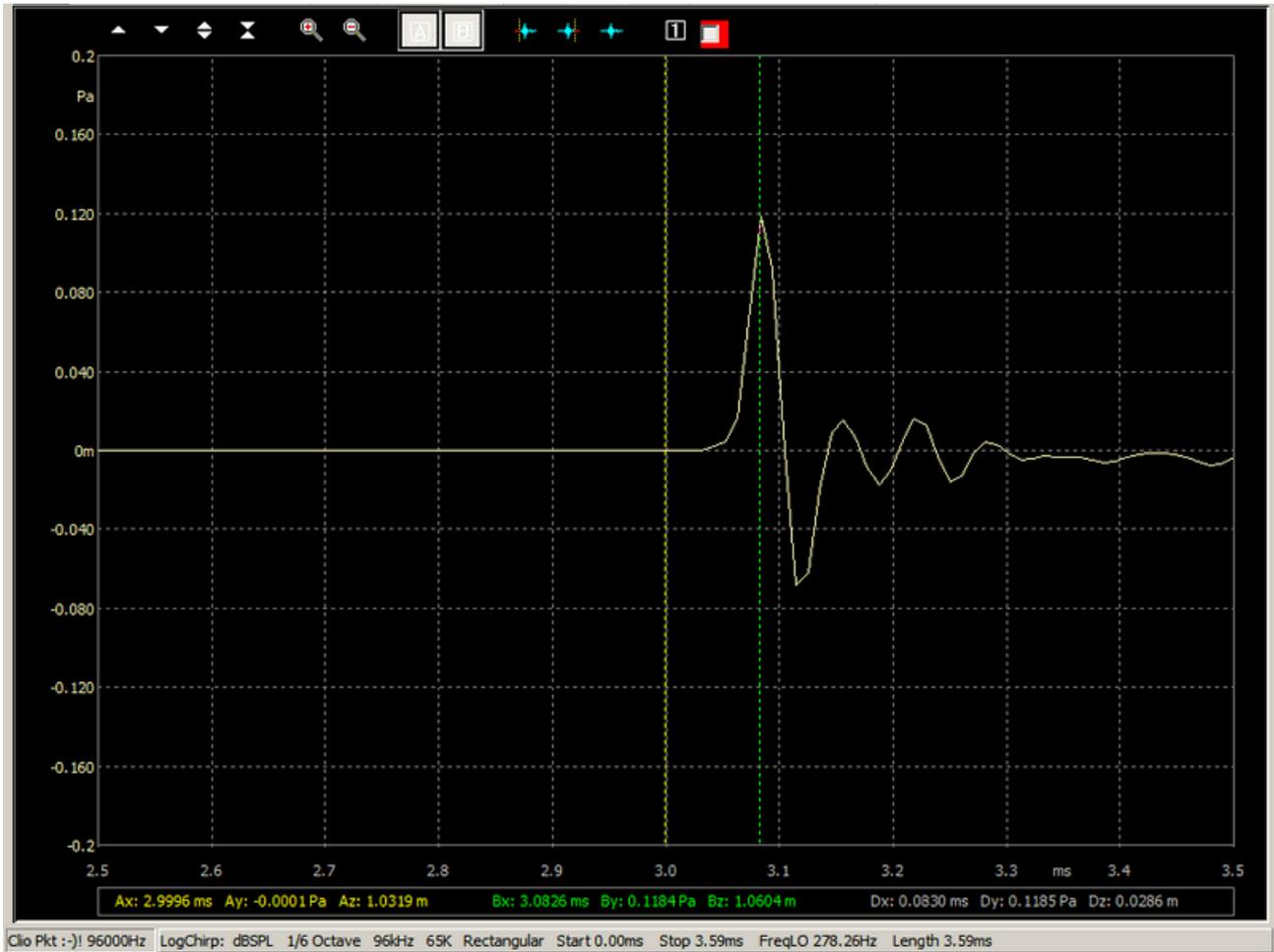


Pied de la réponse impulsionnelle du medium reçue par le microphone.

Elle correspond au trajet le plus court parcouru par la pression sonore délivrée par le haut-parleur jusqu'au microphone.



Point de l'impulsion du medium correspondant au retard mesuré par la méthode de la phase minimale.



Pic de l'impulsion du medium. Valeur identique à celle trouvée par "Capture delay", image CD.

Résumé sur les réponses impulsionnelles

	pied	pha-fit	pic
Discov	3.034	3.071	3.083
Illum	3.000	3.022	3.031
	-----	-----	-----
différence	0.034	0.049	0.052 ms

La question porte sur le choix de la valeur de retard à appliquer au tweeter pour le meilleur alignement de deux haut-parleurs. En l'absence d'une théorie bien établie, des investigations complémentaires pourraient aider le choix .

Etude de la réponse "step" de la combinaison des haut-parleurs

Le seul filtrage (crossover) de deux haut-parleurs qui, théoriquement, respecte parfaitement la forme d'onde est celui du premier ordre dont les pentes ultimes atteignent 6 dB par octave. C'est un filtrage bien adapté à l'étude de la relation temporelle entre des haut-parleurs d'une enceinte à deux voies, (bien que la réponse de ceux-ci, à cause de leur résonance fondamentale, affecte quelque peu les résultats.

La courbe de réponse en "step" (intégrale de la courbe impulsionnelle) donne un bon aperçu du respect de la forme d'onde issue de leur combinaison.

Ci-dessous, sont présentées les réponses "step" de l'enceinte étudiée avec un filtrage à 6 dB par octave et des fréquences de recouvrement de 2.0, 2.83 et 3.44 kHz et dans la voie du tweeter des retards introduits par le processeur BSS de 0, 10, 21, 31, 42, 52, 62, 73 et 83 μ s.

Ces valeurs temporelles de retard peuvent être converties en longueur en mm pour indiquer la position du tweeter par rapport au plan de référence du baffle.

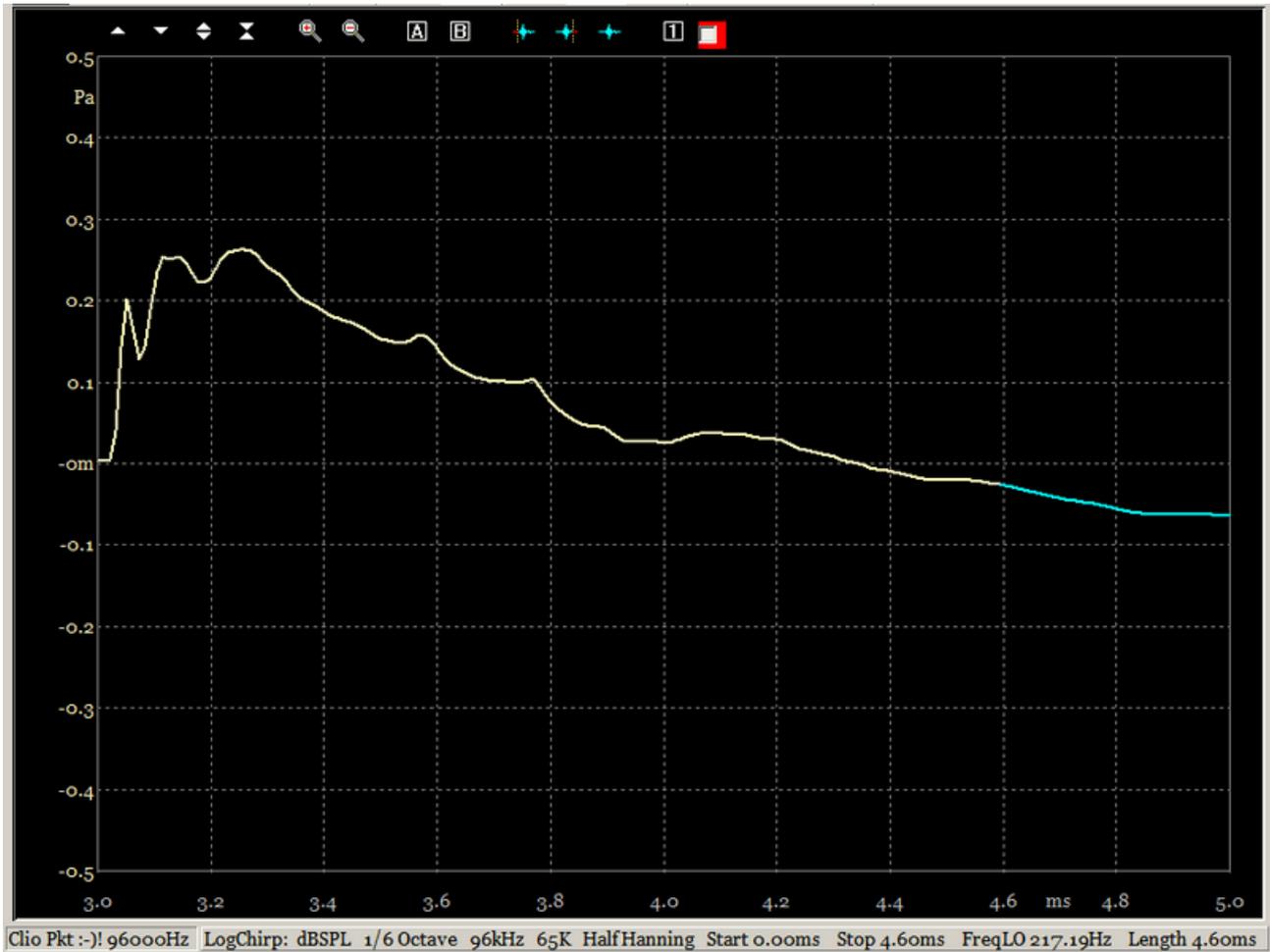
Réponses "step" pour un filtrage à 6 dB/o à 2.0 kHz

Retards appliqués au tweeter 0, 10, 21, 31, 42, 52, 62, 73 et 83 μ s

Ecart entre les haut-parleurs Illum et Discov : 120 mm

Distance entre baffle et micro : 688 mm

→

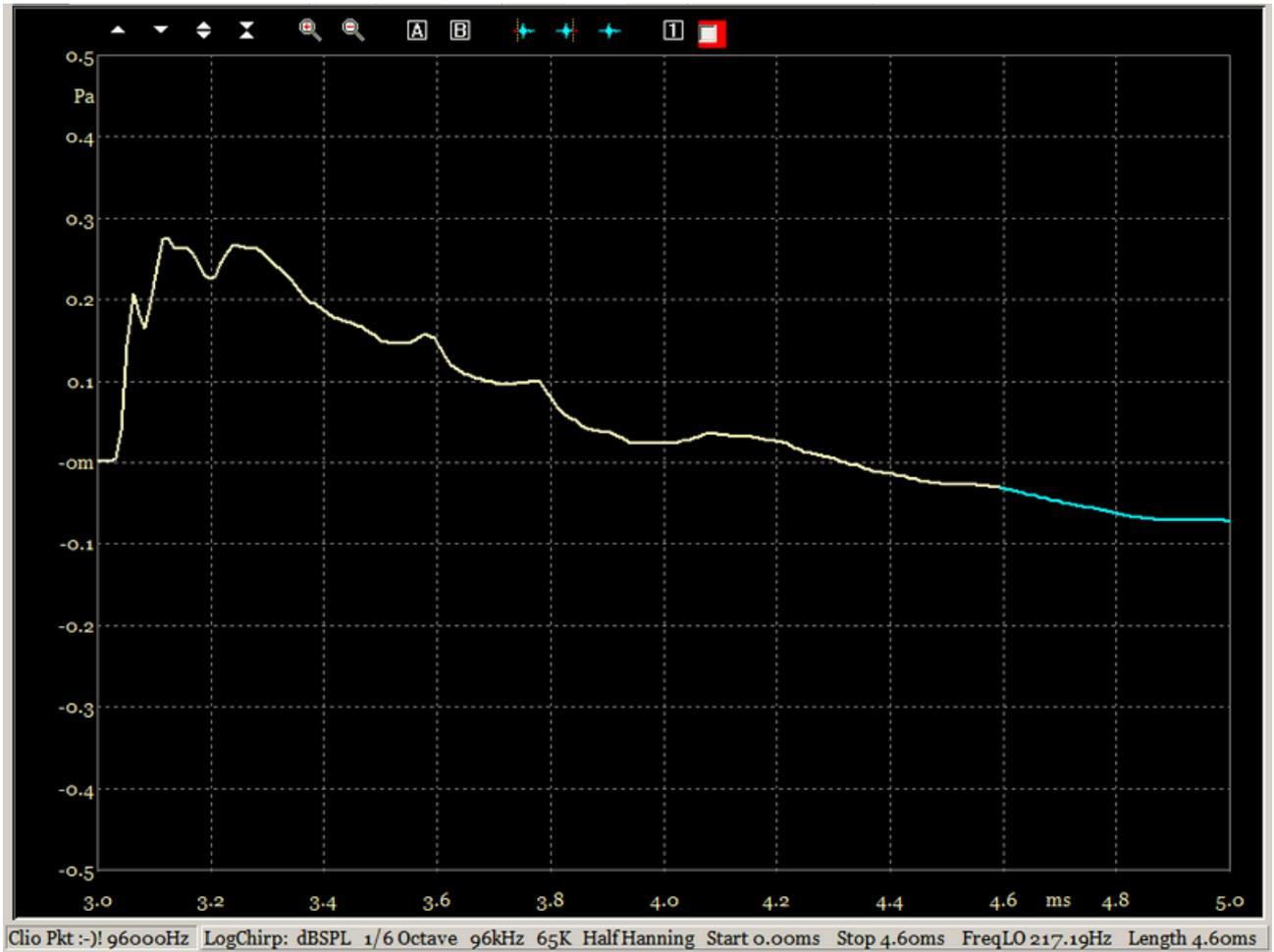


DA 688-60 mm step 2k00 06but Illum 00 us Discov.png

Le retard introduit dans la voie du tweeter est indiqué en **gras**.

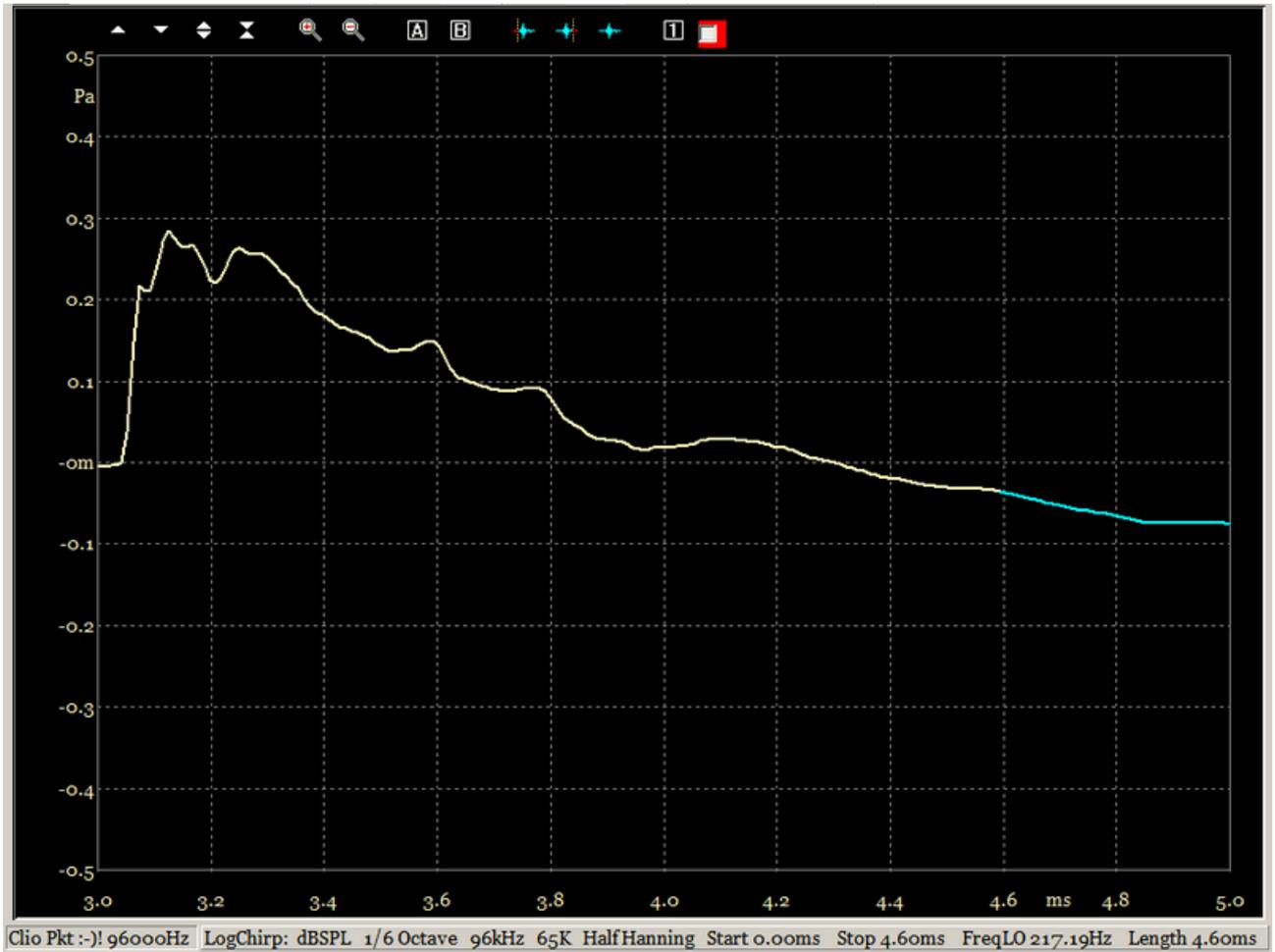
C'est la réponse que donne, pour un filtrage d'ordre 1 à 2 kHz, la combinaison du medium et du tweeter dont la face arrière de la platine de fixation est fixée sur le baffle, sans inclinaison ou autre dispositif introduisant un retard temporel sur l'un d'eux. C'est la disposition la plus courante.

Le pic du tweeter est très en avance, le sommet suivant présente une double bosse ; la forme d'onde est nettement déformée.



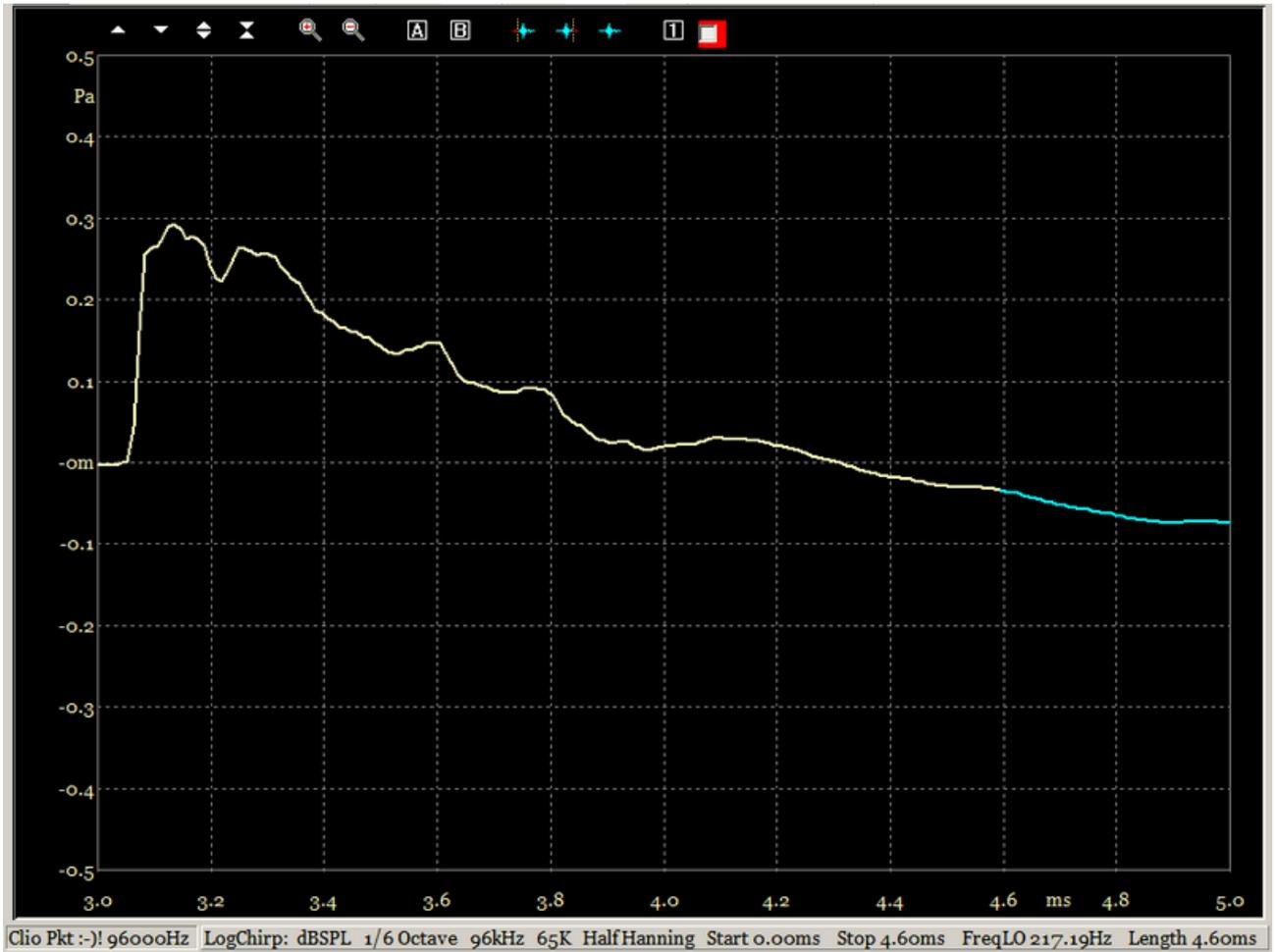
DB 688-60 mm step 2k00 06but Illum 10 us Discov.png

L'augmentation du retard sur le tweeter rapproche son pic des deux sommets de la courbe précédente.



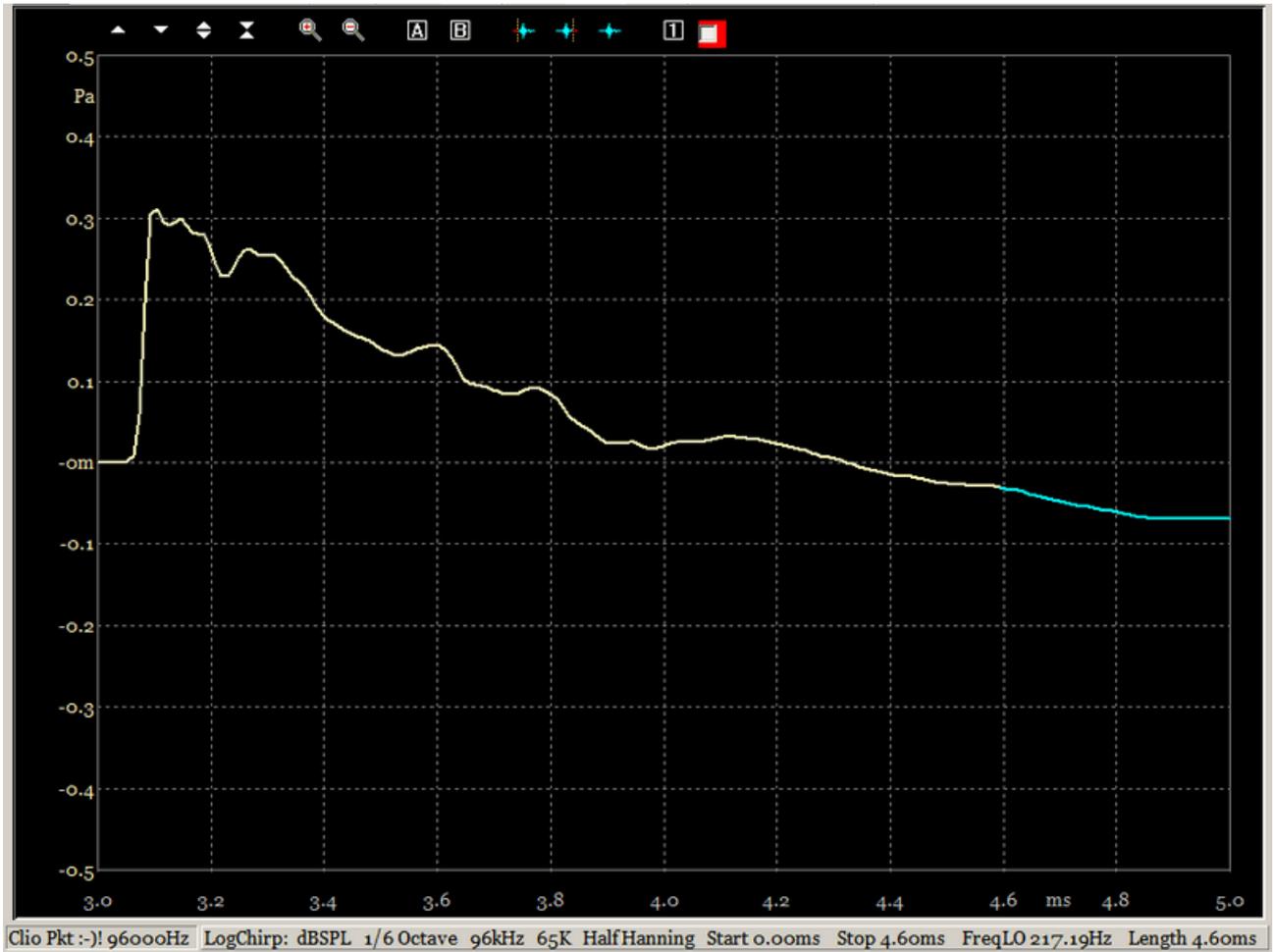
DC 688-60 mm step **2k00** 06but Illum **21 us** Discov.png

Les sommets des réponses des haut-parleurs commencent à se confondre.



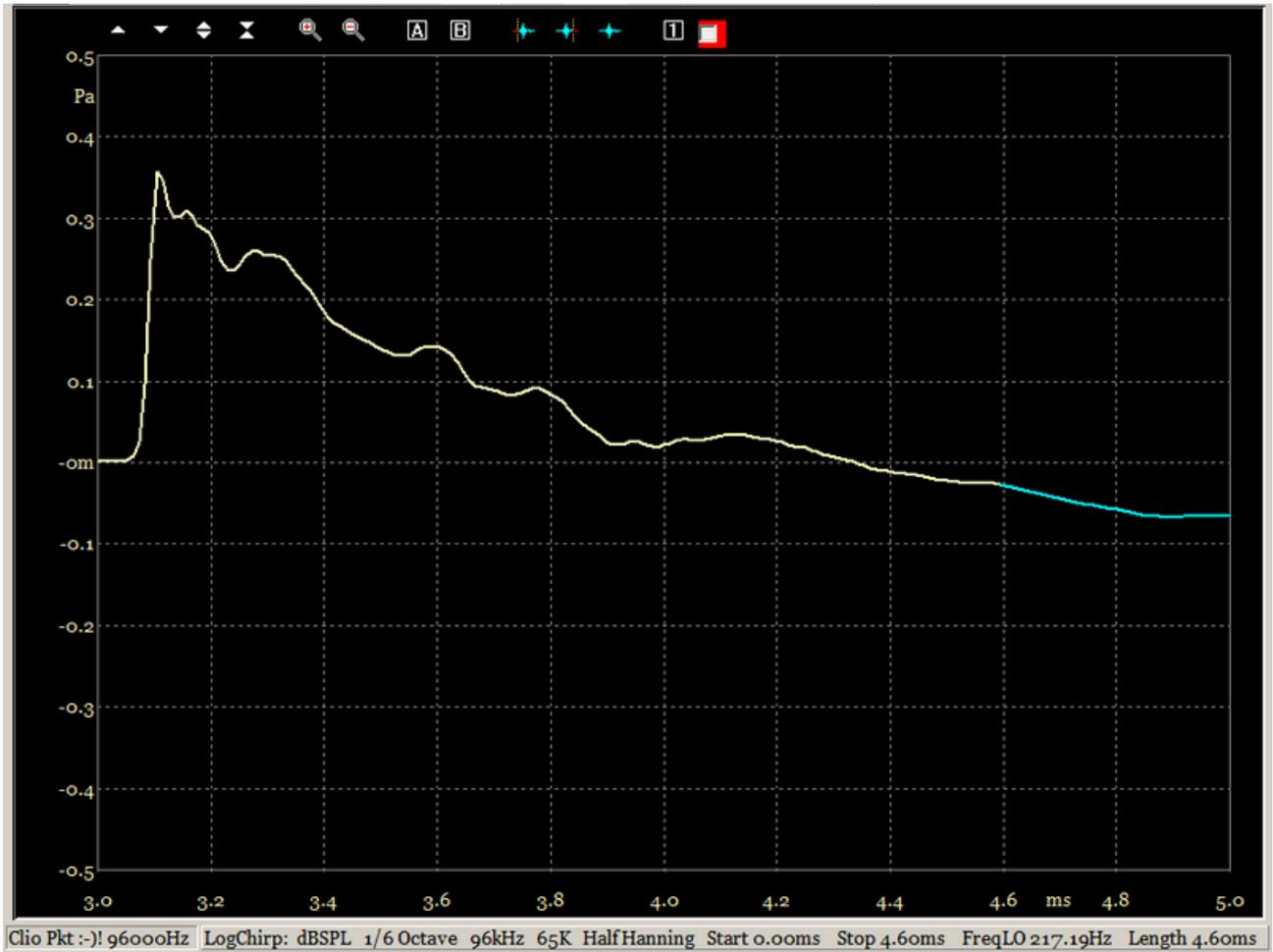
DD 688-60 mm step 2k00 06but Illum 31 us Discov.png

La montée de la courbe est régulière, le sommet présente une sorte d'hésitation.



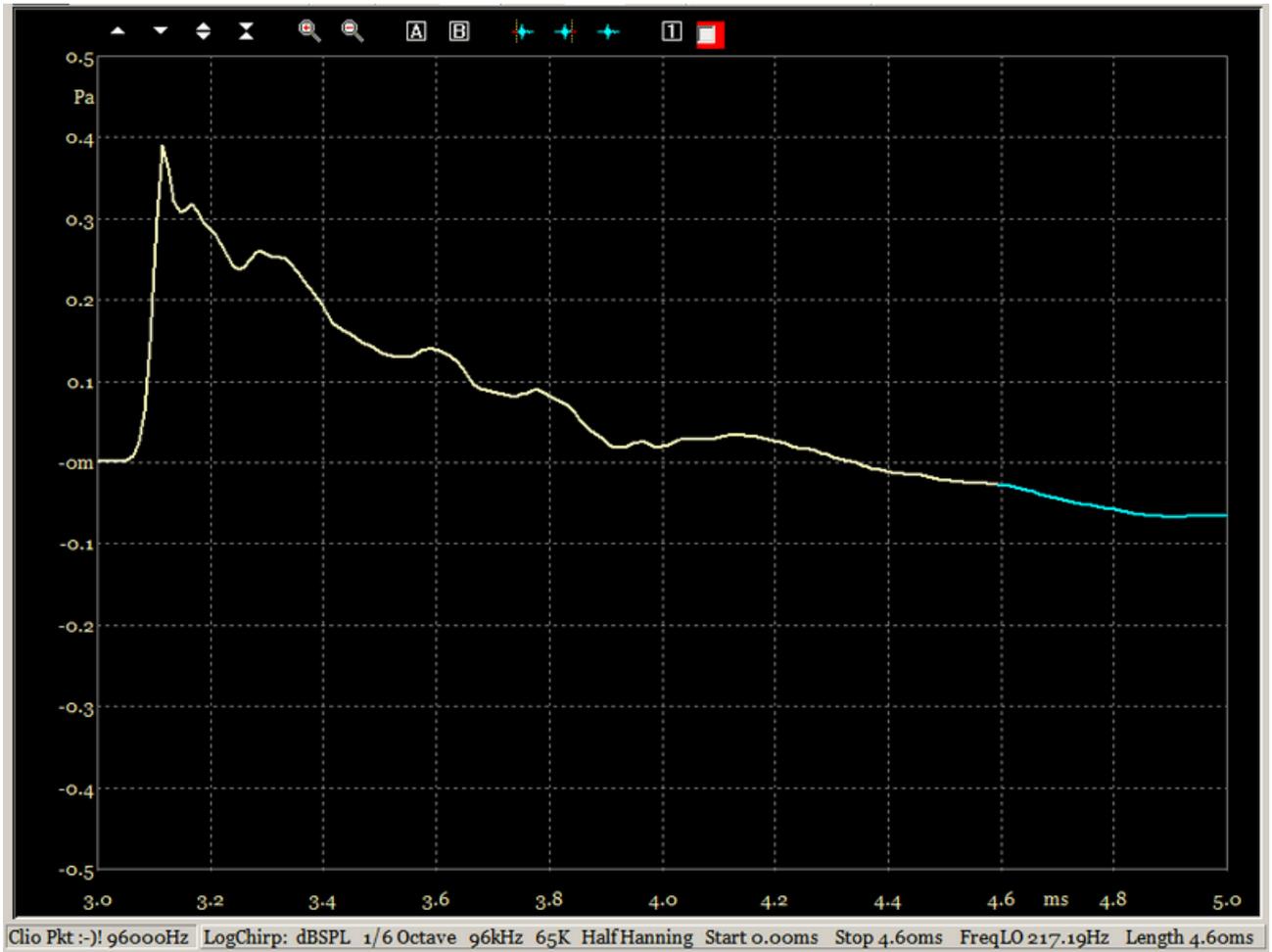
DE 688-60 mm step **2k00** 06but Illum **42 us** Discov.png

La montée est franche. A part un petit creux, la redescente se fait presque en ligne droite.

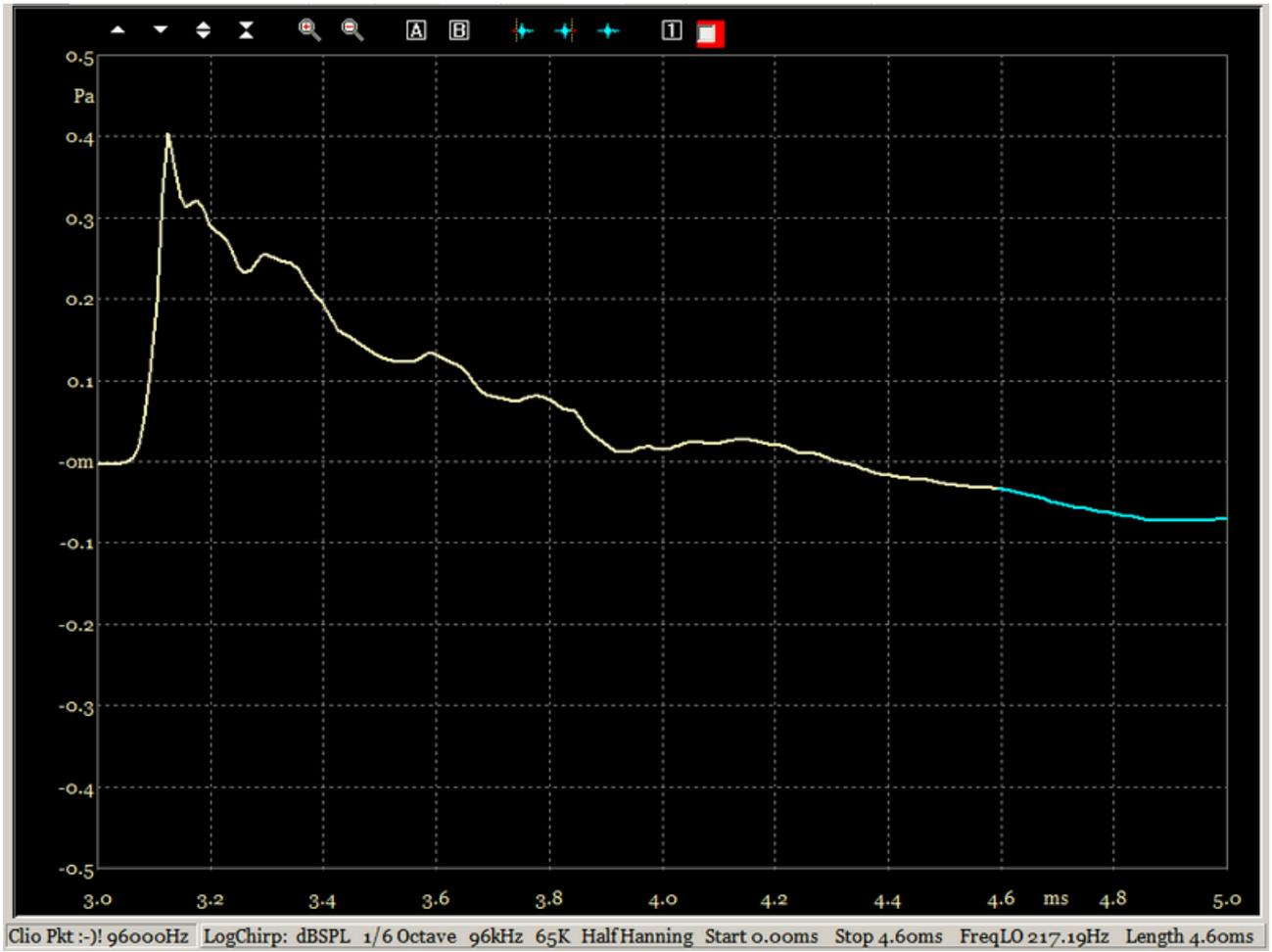


DF 688-60 mm step 2k00 06but Illum 52 us Discov.png

Le pied est très légèrement arrondi, indiquant que le medium commence à prendre de l'avance sur le tweeter. Un début de pointe apparaît au sommet.

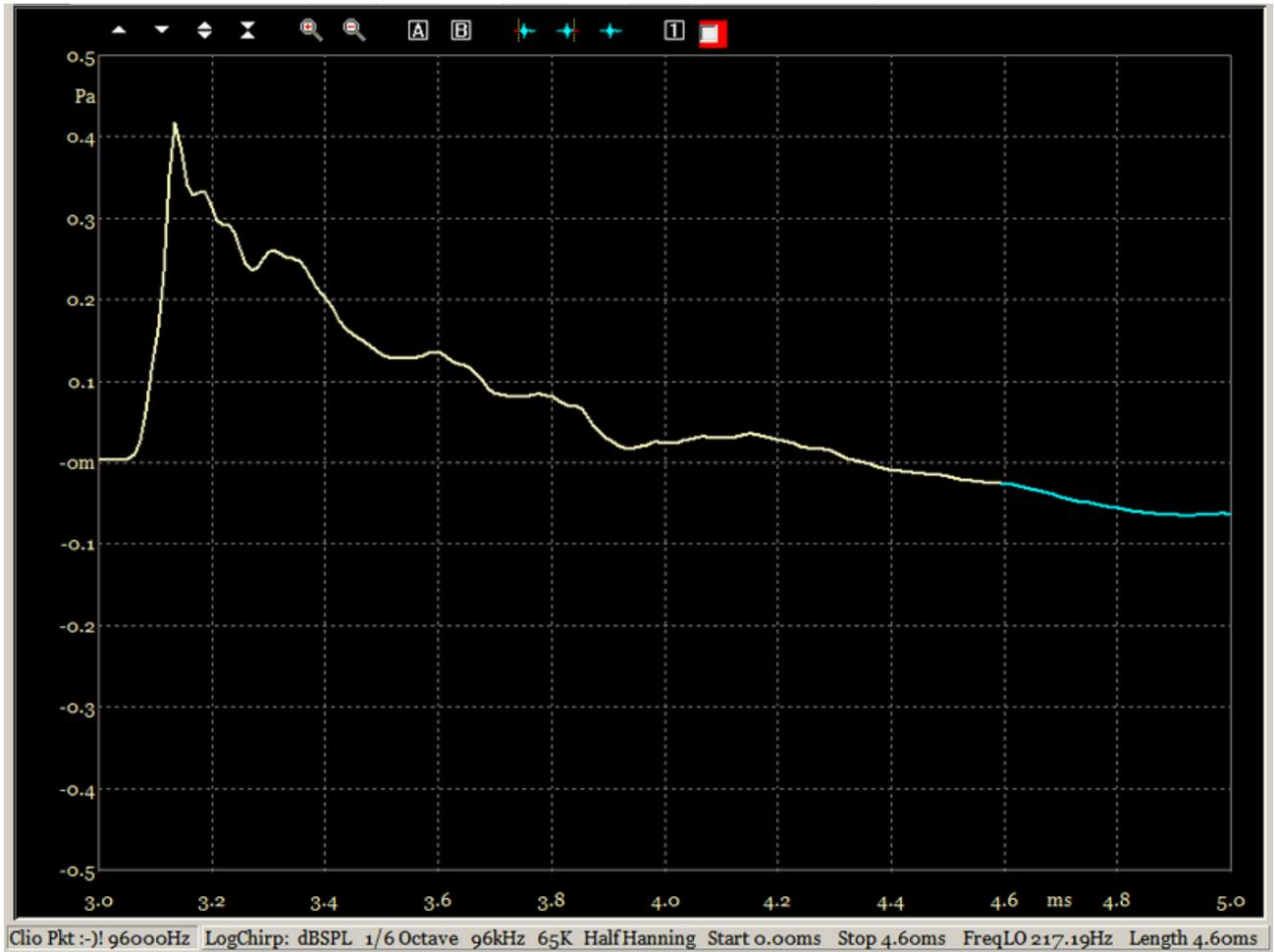
DG 688-60 mm step **2k00** 06but Illum **62 us** Discov.png

Le pic s'effile.



DH 688-60 mm step **2k00** 06but Illum **73 us** Discov.png

L'arrondi du pied est plus important.



DI 688-60 mm step 2k00 06but Illum 83 us Discov.png

La montée se distingue vraiment d'une ligne droite.

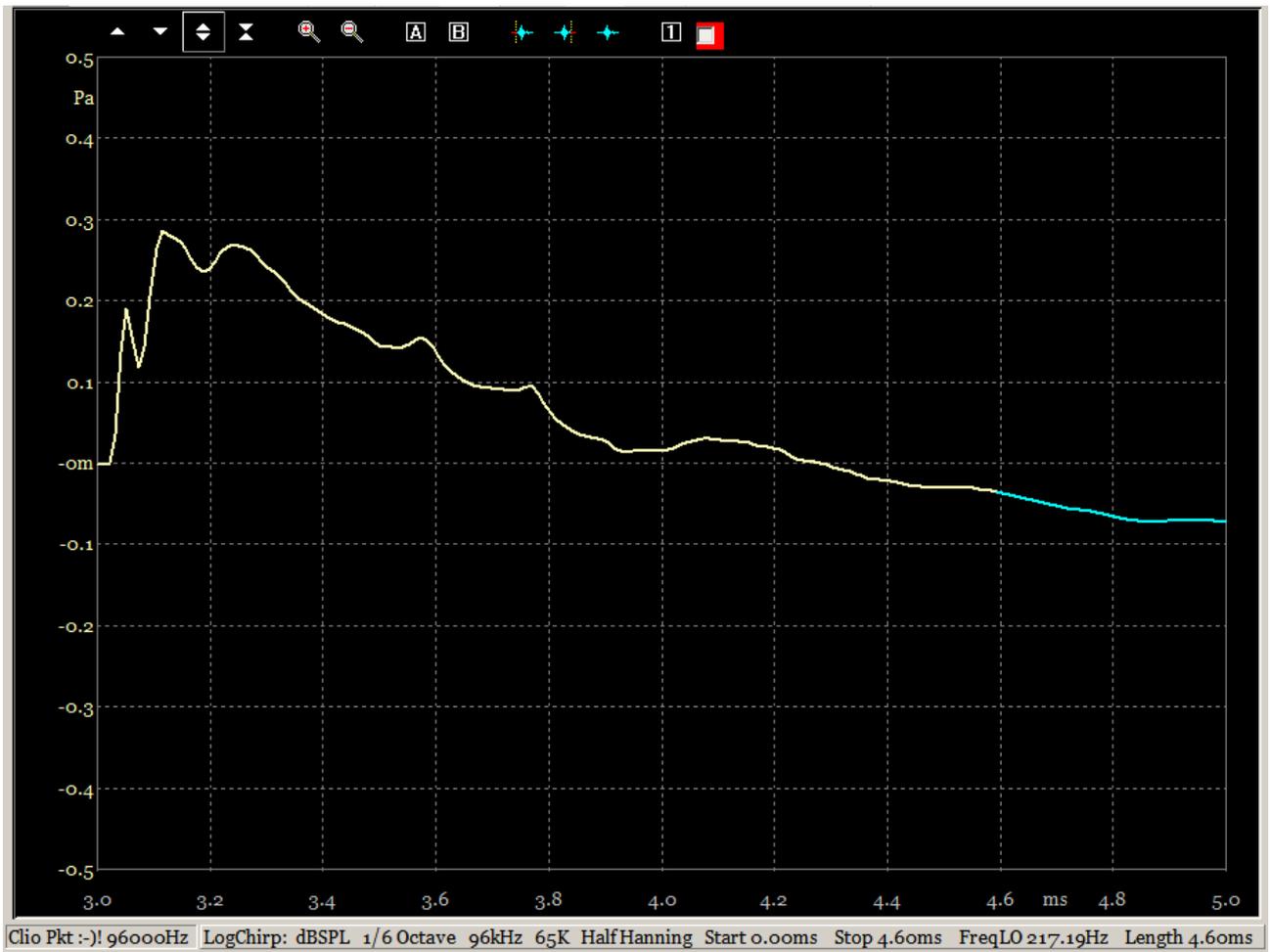
Réponses "step" pour un filtrage à 6 dB/o à 2.83 kHz

Retards appliqués au tweeter 0, 10, 21, 31, 42, 52, 62, 73 et 83 μ s

Ecart entre les haut-parleurs Illum et Discov : 120 mm

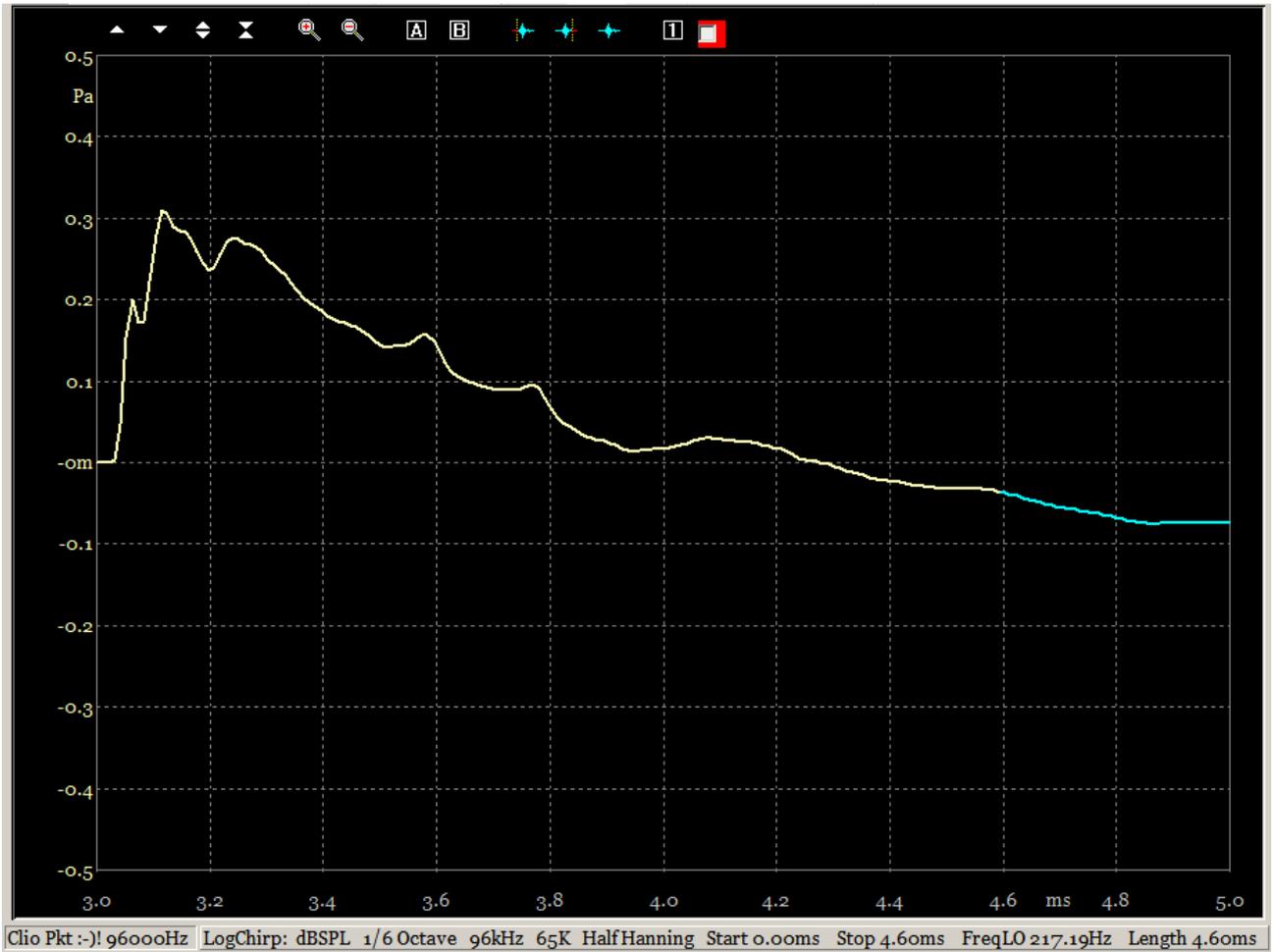
Distance entre baffle et micro : 688 mm

→

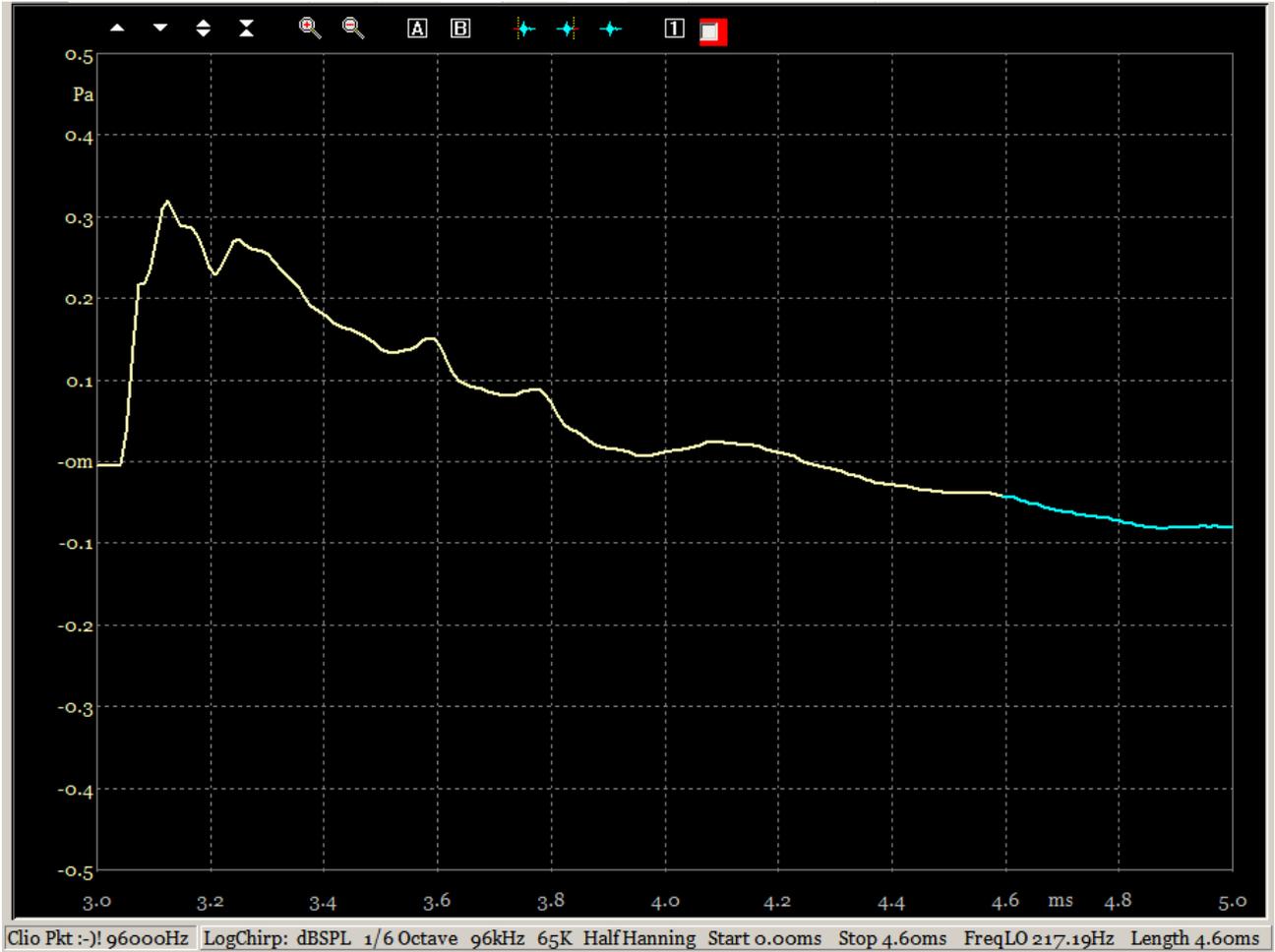


EA 688-60 mm step 2k83 06but I lum 00 us Discov.png

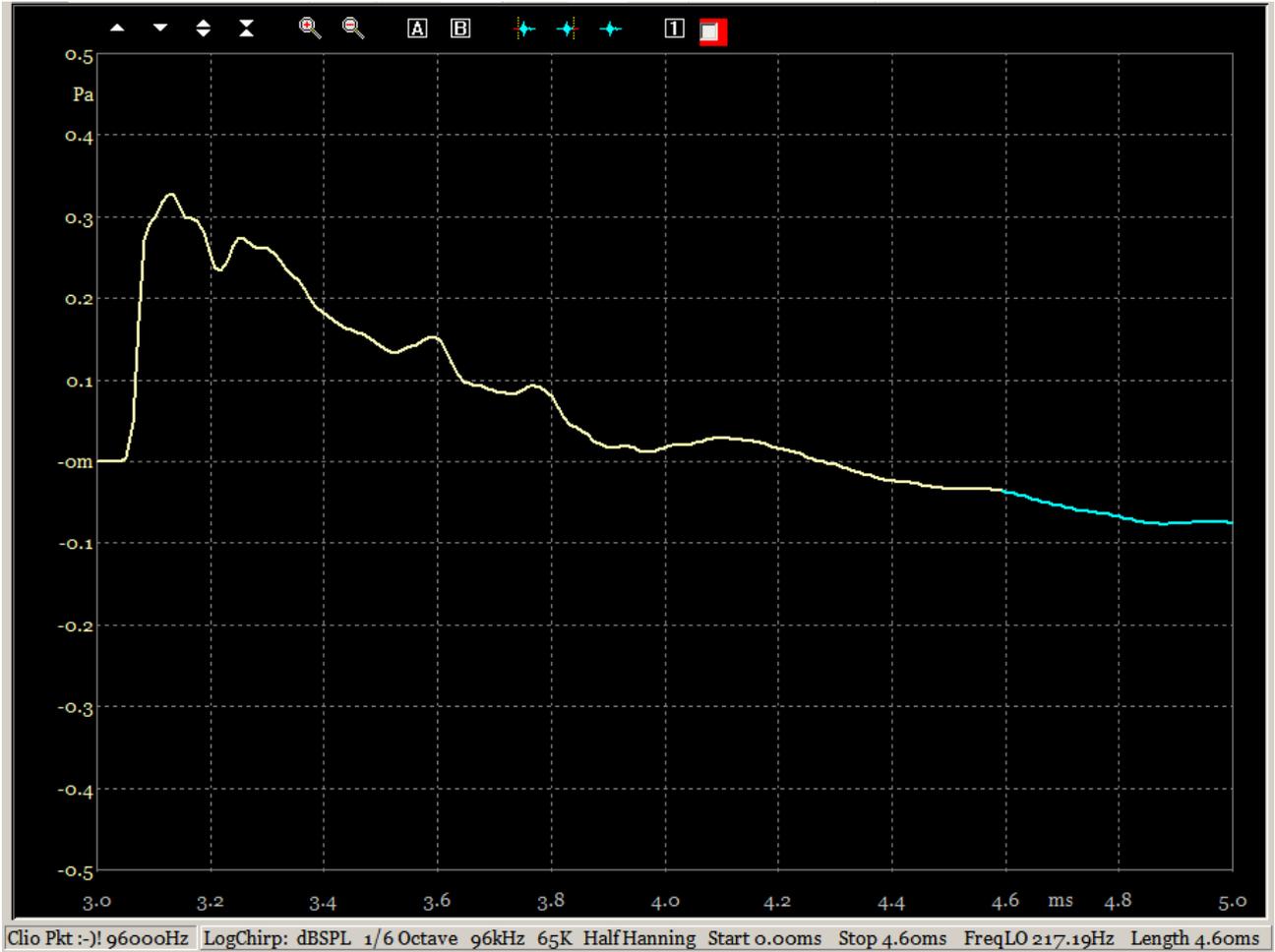
Le pic du tweeter est en avance.



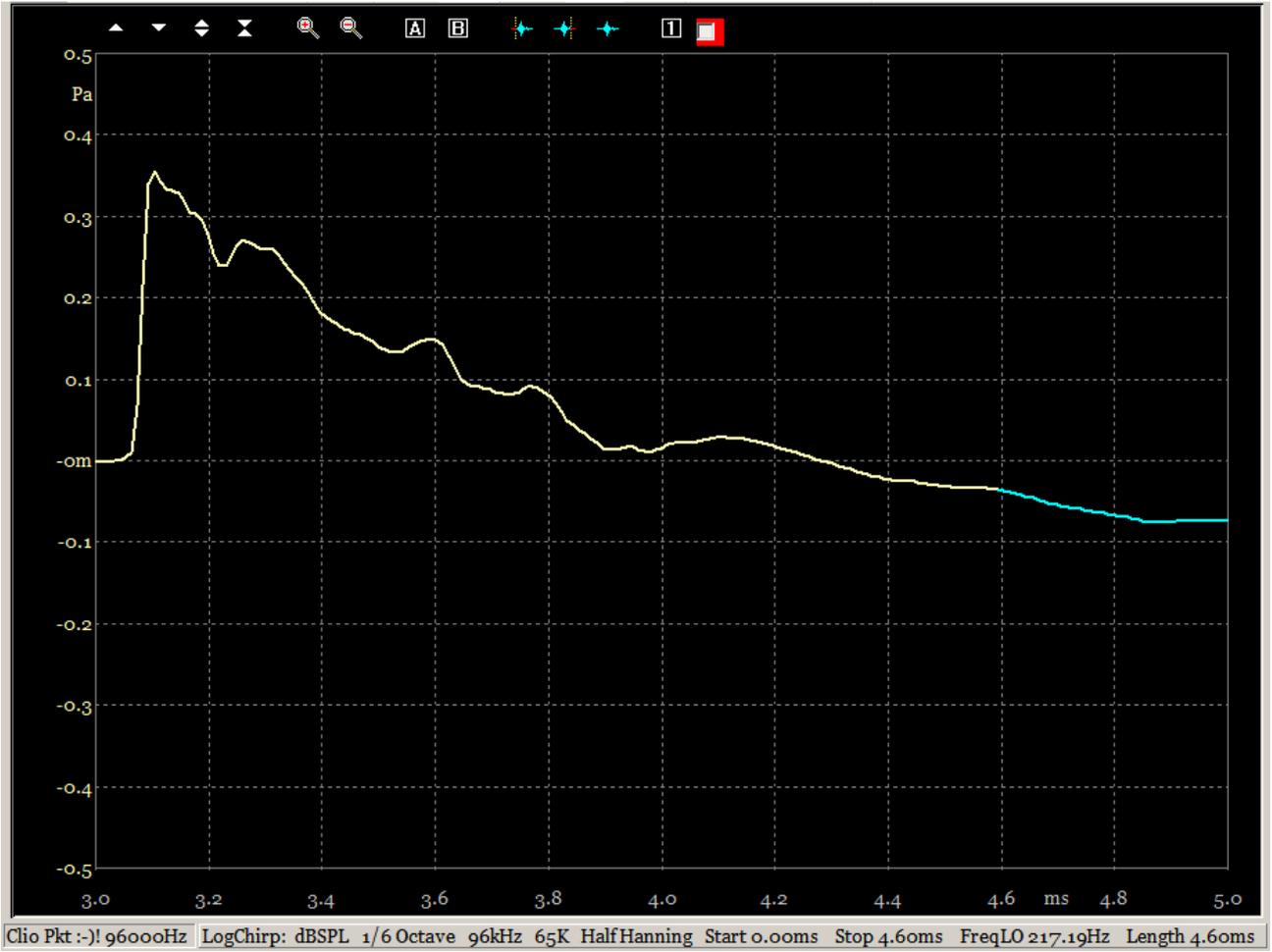
EB 688-60 mm step **2k83** 06but Ilum **10 us** Discov.png



EC 688-60 mm step 2k83 06but Ilum 21 us Discov.png



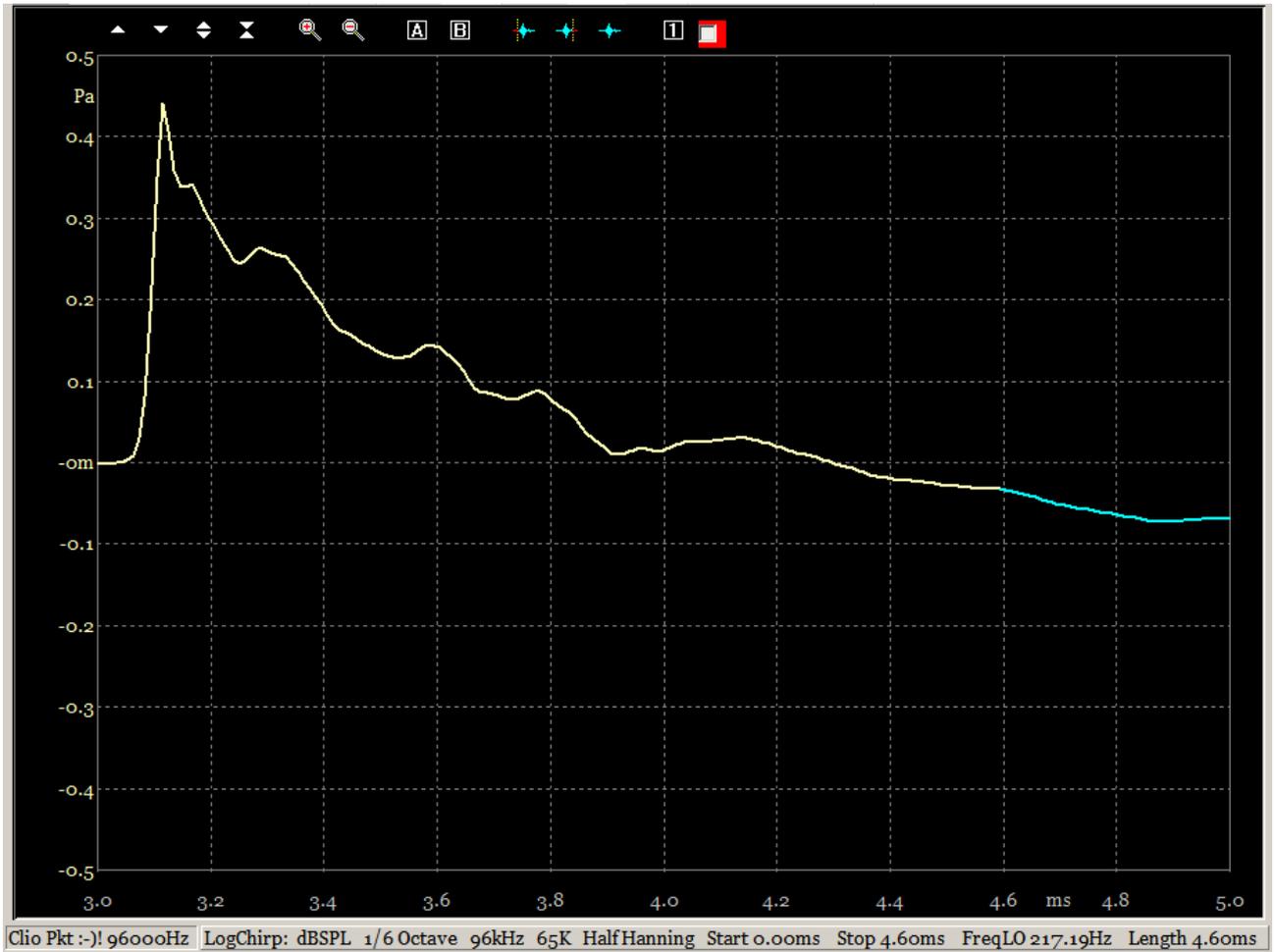
ED 688-60 mm step 2k83 06but Ilum 31 us Discov.png



EE 688-60 mm step **2k83** 06but Ilum **42 us** Discov.png



EF 688-60 mm step 2k83 06but Ilum 52 us Discov.png



EG 688-60 mm step **2k83** 06but Ilum **62 us** Discov.png



EH 688-60 mm step step **2k83** 06but Ilum **73 us** Discov.png



EI 688-60 mm step step **2k83** 06but Illum **83 us** Discov.png

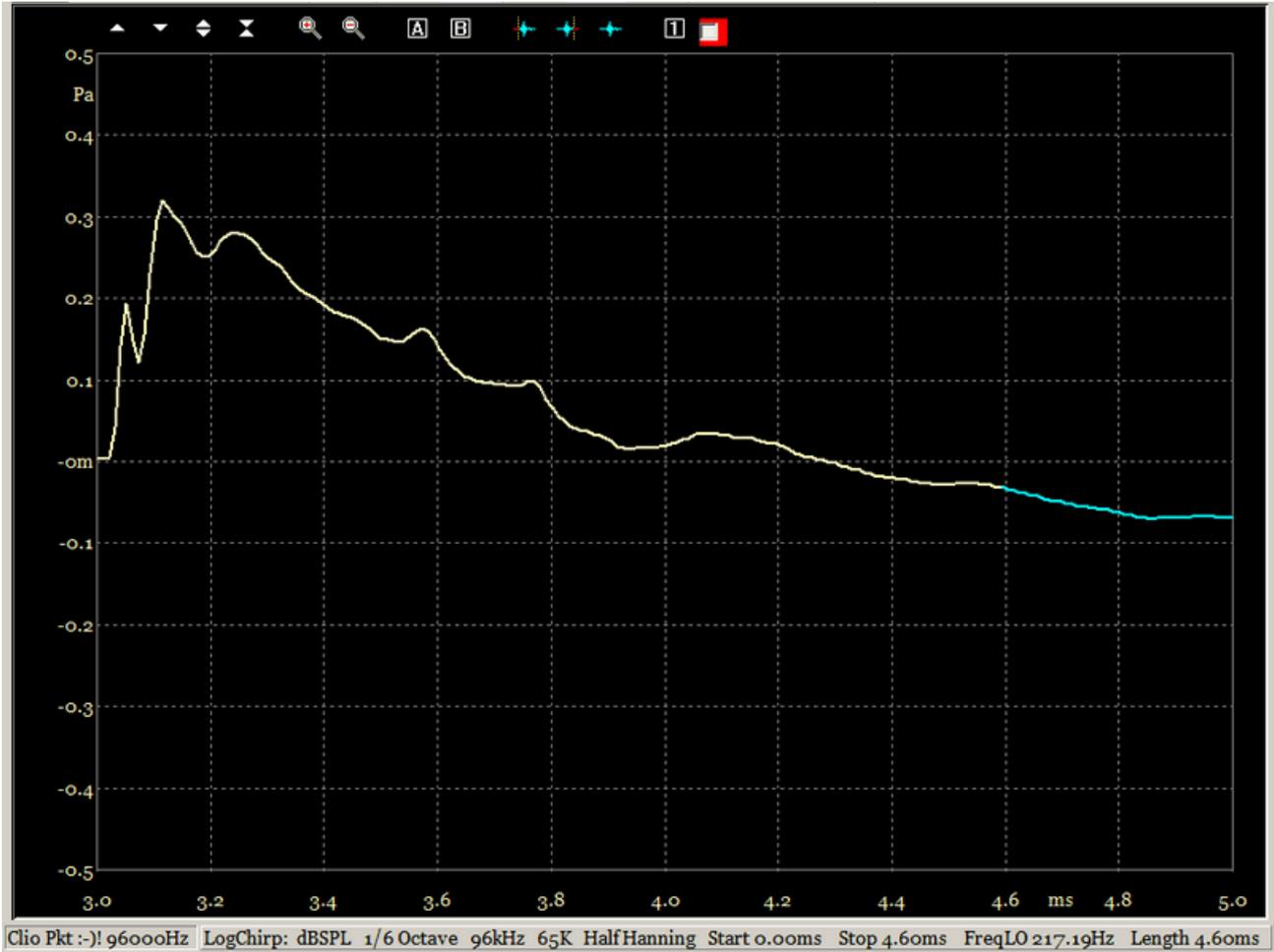
Réponses "step" pour un filtrage à 6 dB/o à 3.48 kHz

Retards appliqués au tweeter 0, 10, 21, 31, 42, 52, 62, 73 et 83 μ s

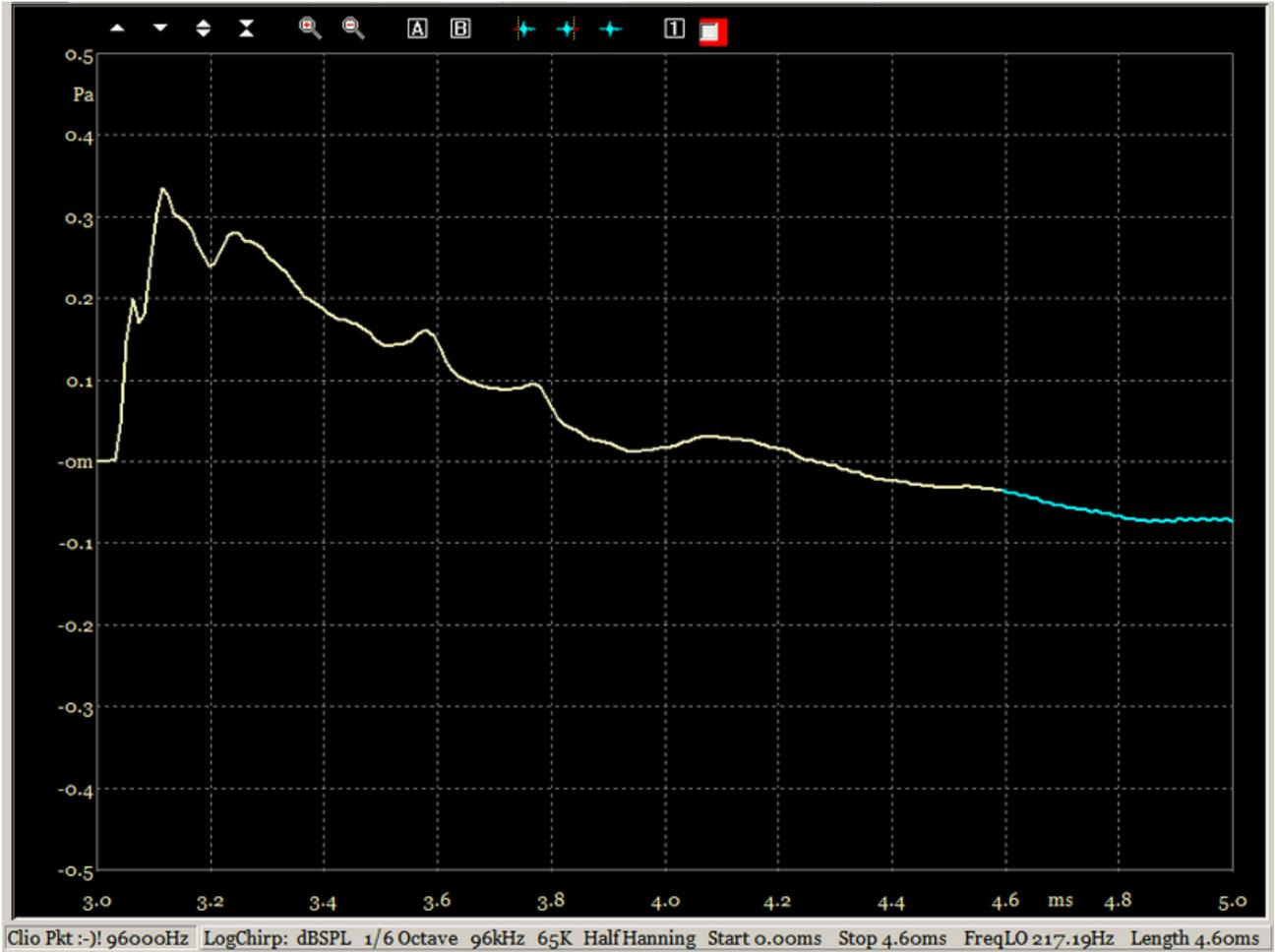
Ecart entre les haut-parleurs Illum et Discov : 120 mm

Distance entre baffle et micro : 688 mm

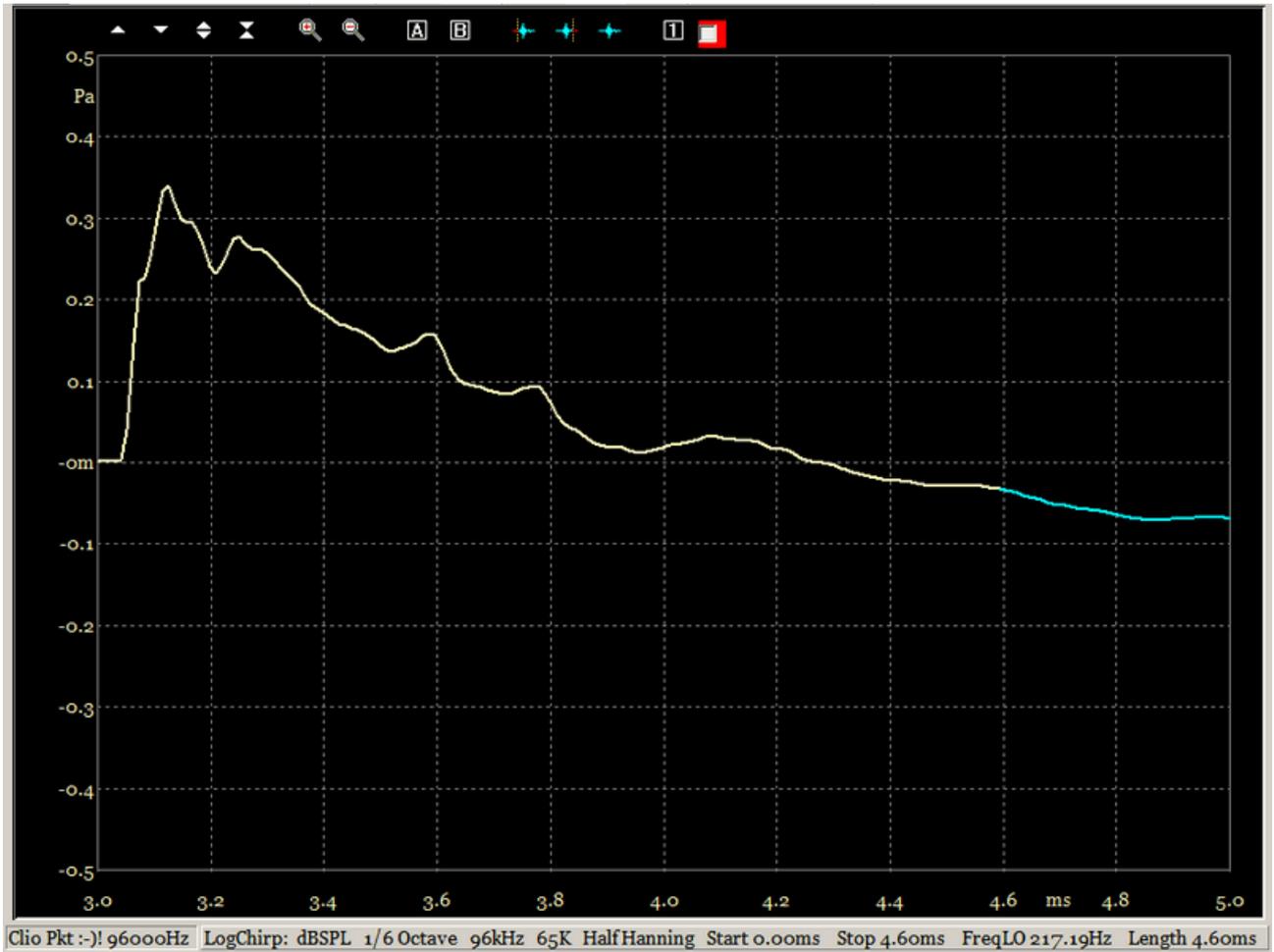
→



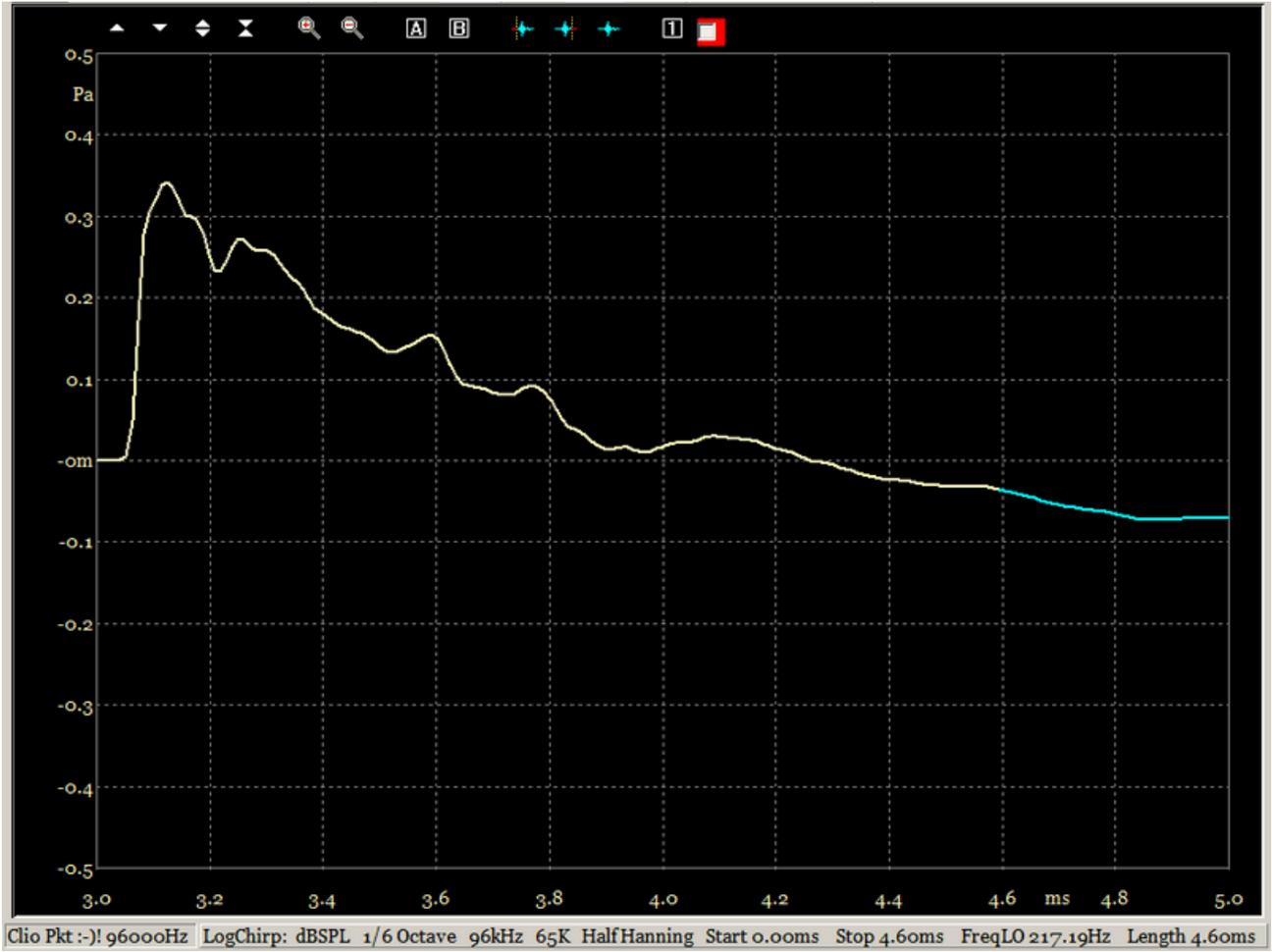
FA 688-60 mm step **3k48** 06but Illum **00 us** Discov.png



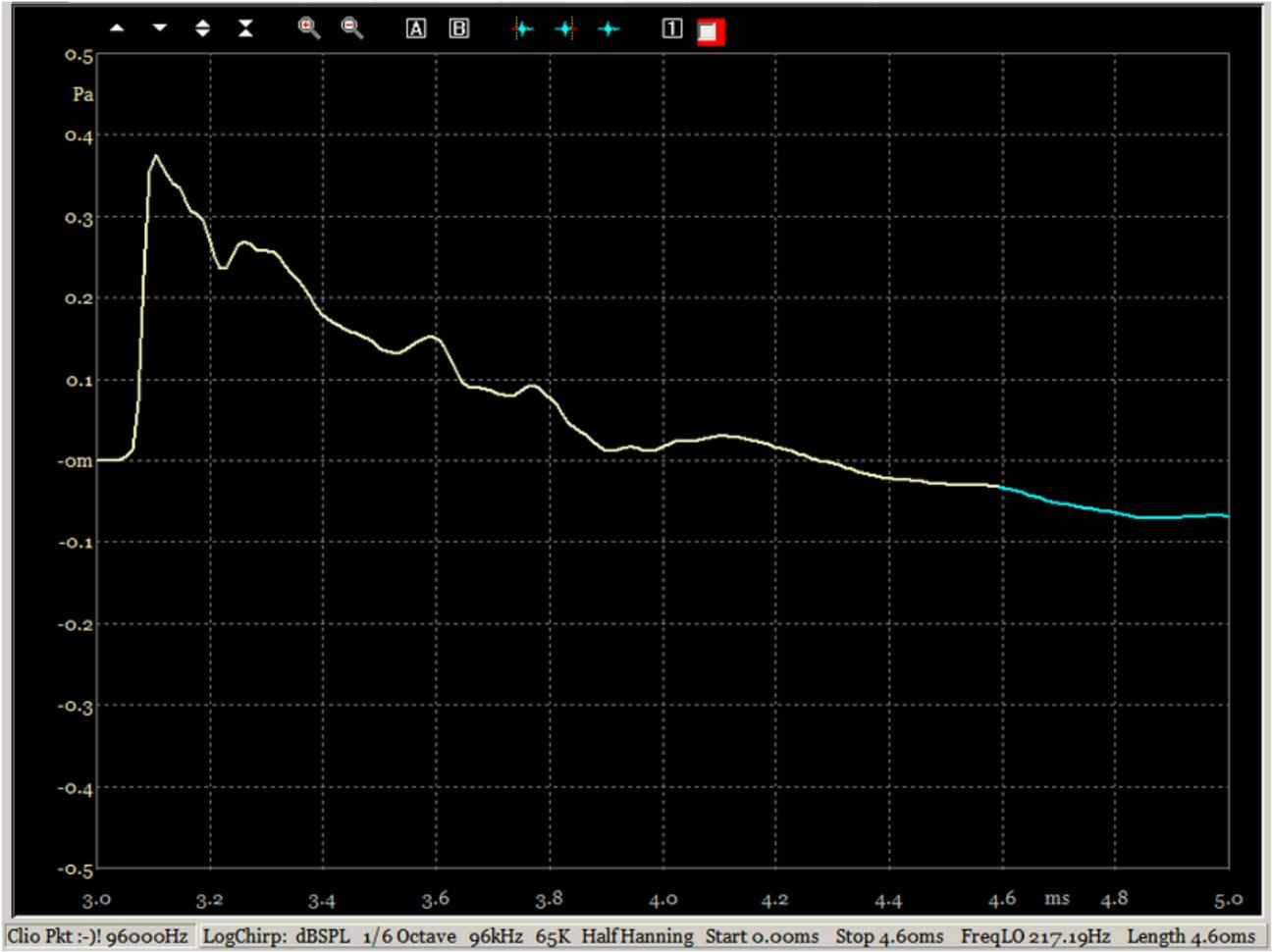
FB 688-60 mm step **3k48** 06but Illum **10 us** Discov.png



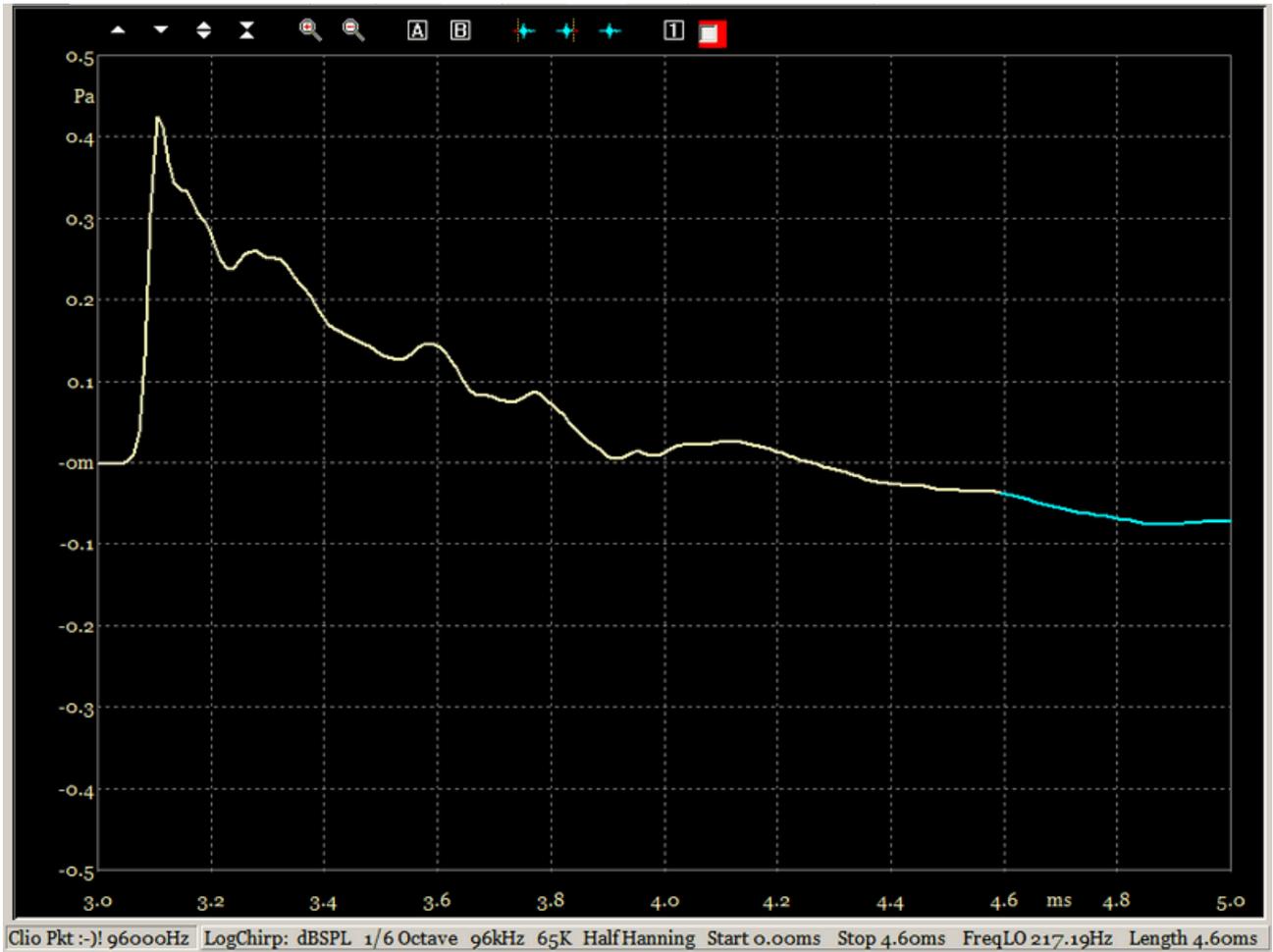
FC 688-60 mm step **3k48** 06but Illum **21 us** Discov.png



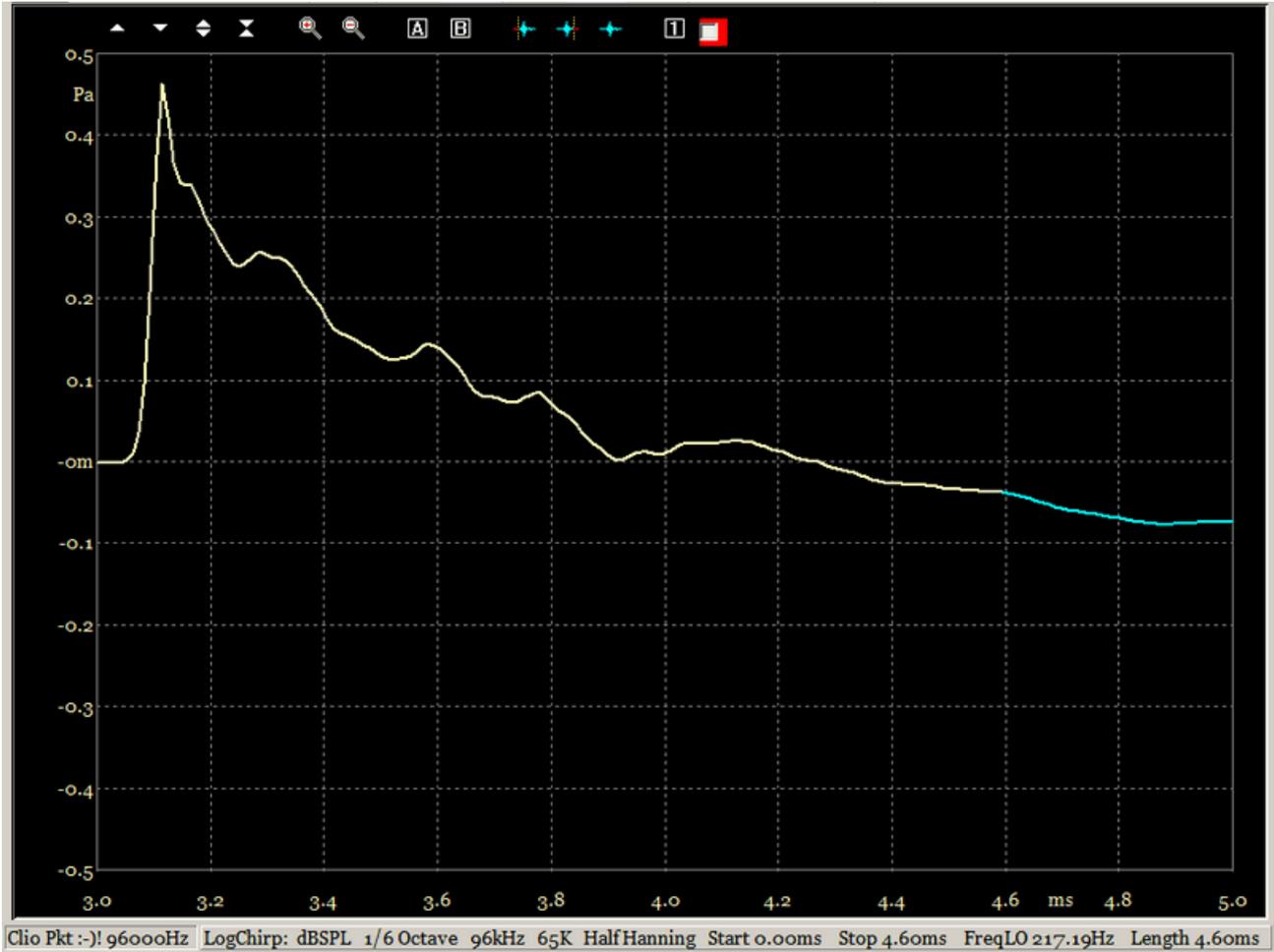
FD 688-60 mm step 3k48 06but Illum 31 us Discov.png



FE 688-60 mm step **3k48** 06but Illum **42 us** Discov.png



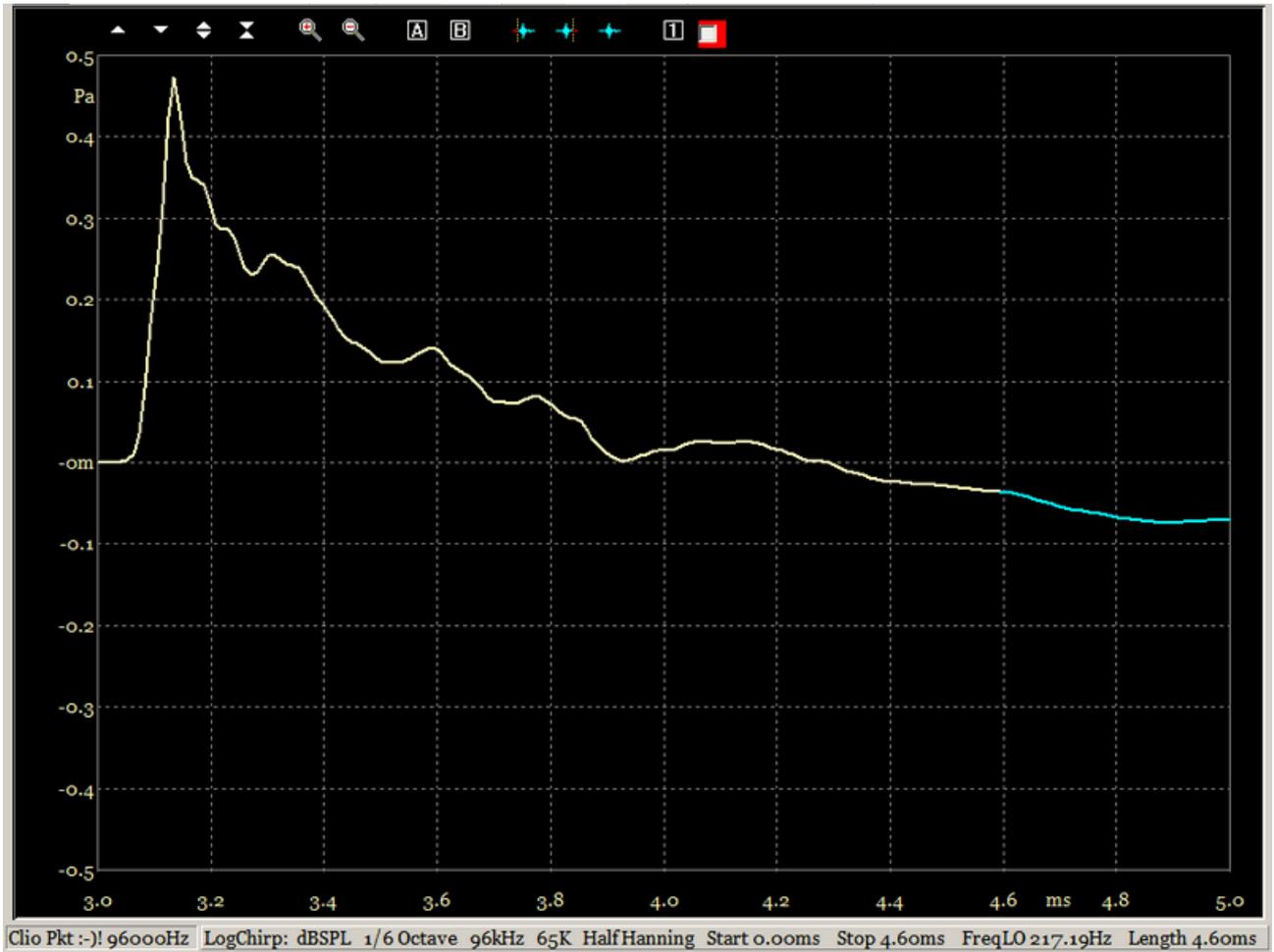
FF 688-60 mm step **3k48** 06but Illum **52 us** Discov.png



FG 688-60 mm step **3k48** 06but Illum **62 us** Discov.png



FH 688-60 mm step **3k48** 06but Illum **73 us** Discov.png



FI 688-60 mm step **3k48** 06but Illum **83 us** Discov.png

Conclusion sur les réponses "step"

La réponse idéale pour la combinaison des haut-parleurs doit présenter une montée franche du signal, une absence de dépassement et une retombée sensiblement rétiligne.

Pour l'auteur de cette étude, la réponse où le retard appliqué à la voie du tweeter est de 42 μ s est celle qui répond le mieux à ces critères, et ceci pour chacune des trois fréquences de croisement étudiées.

Alignement et courbes de réponse

Ecart entre les haut-parleurs Illum et Discov : 120 mm

Distance entre baffle et micro : 1204 mm

Le décalage géométrique ou temporel des haut-parleurs ayant une influence sur les rendus de forme d'onde, il en a aussi nécessairement une sur les courbes de réponse en fréquence.

Si la configuration générale de l'installation de reproduction est conforme à la théorie du filtrage, la réponse devrait être plane pour un branchement en polarité correcte, directe ou inversée sur l'un des deux haut-parleurs selon celle requise par le filtrage, et présenter une réponse irrégulière avec un creux autrement.

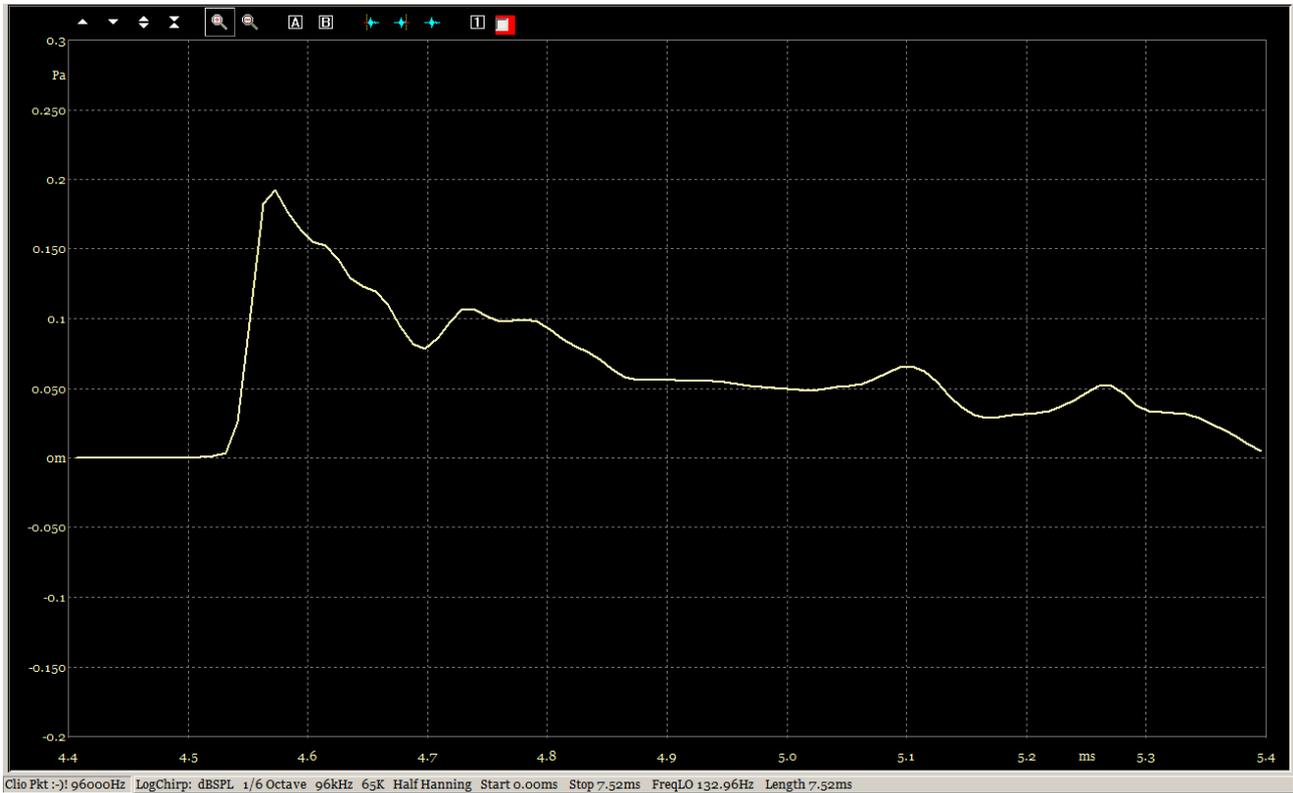
L'effet devrait être plus visible sur les filtrages où la relation de phase entre les deux haut-parleurs est un multiple de π , c'est à dire les Linkwitz-Riley d'ordre pair.

C'est à cet aspect que l'on va s'intéresser maintenant, mais on va voir aussi ce que cela donne sur les filtrages d'ordre impair d'ordre 1 et 3 où la relation de phase entre les haut-parleurs est de $\pi/2$.

Pour chaque type de configuration de filtrage, la réponse en "step" pour un retard de 42 μ s du tweeter est préalablement montrée afin de vérifier que la polarité de branchement des haut-parleurs est conforme, directe ou inversée, à celle demandée par la théorie de cette configuration.

La distance D du point milieu sur le baffle à la capsule du micro a été portée à 1204 mm (3,5 fois 344 mm).

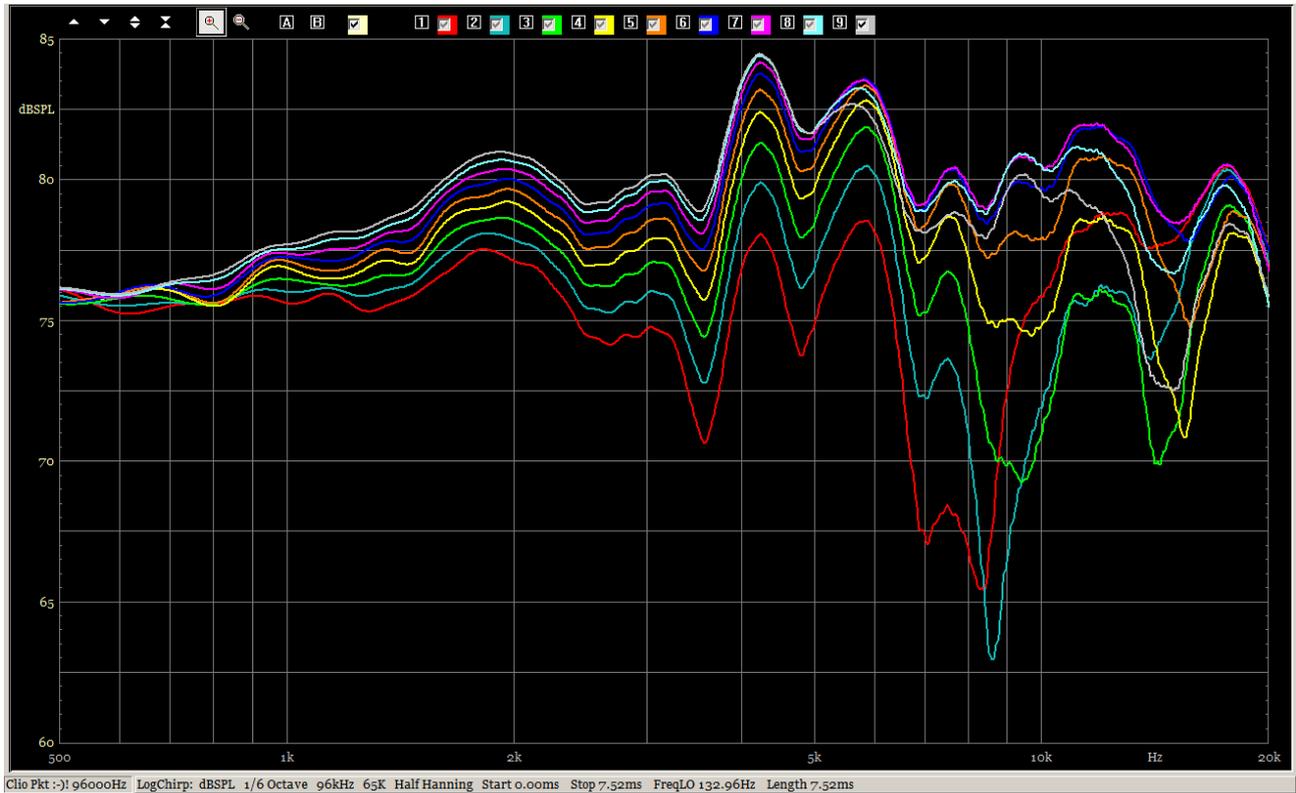
Les détails sur les noms des fichiers sont donnés en annexe, on a cherché à les rendre explicites.



Reponse "step" du filtrage d'ordre 1 (6 dB/o) à 2 kHz, branchement du tweeter en polarité directe. Retard de 42 μ s dans sa voie.

C'est, avant que les mesures de courbe de réponse soient effectués, une vérification que la polarité prévue pour le branchement des haut-parleurs est respectée. Pour ce filtrage-ci, les pics des haut-parleurs allant dans la même direction, le branchement du tweeter est correct.

Figure à comparer avec HC où le branchement du tweeter est inversé et donc erroné.

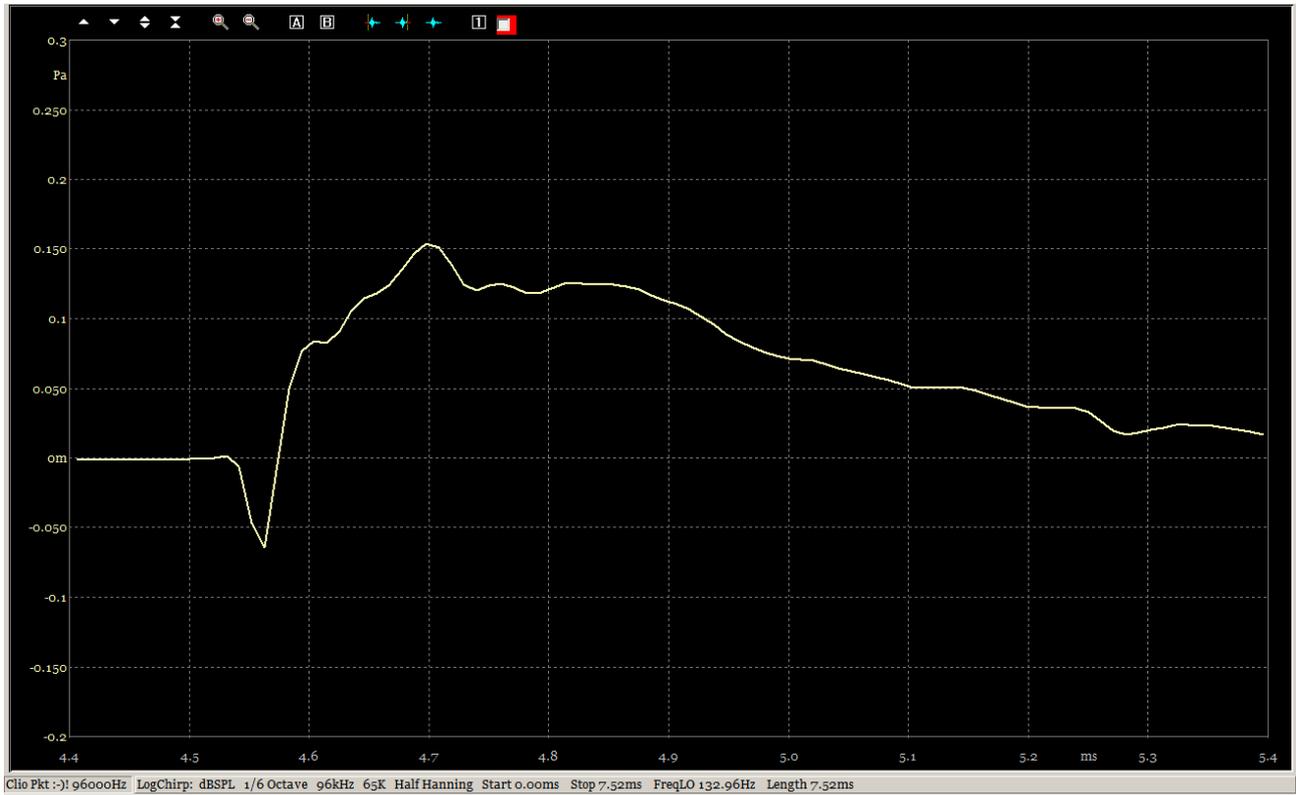


HB 1204-60 mm freq 3k48 06but Illum dir 0 to 83 us Discov.png

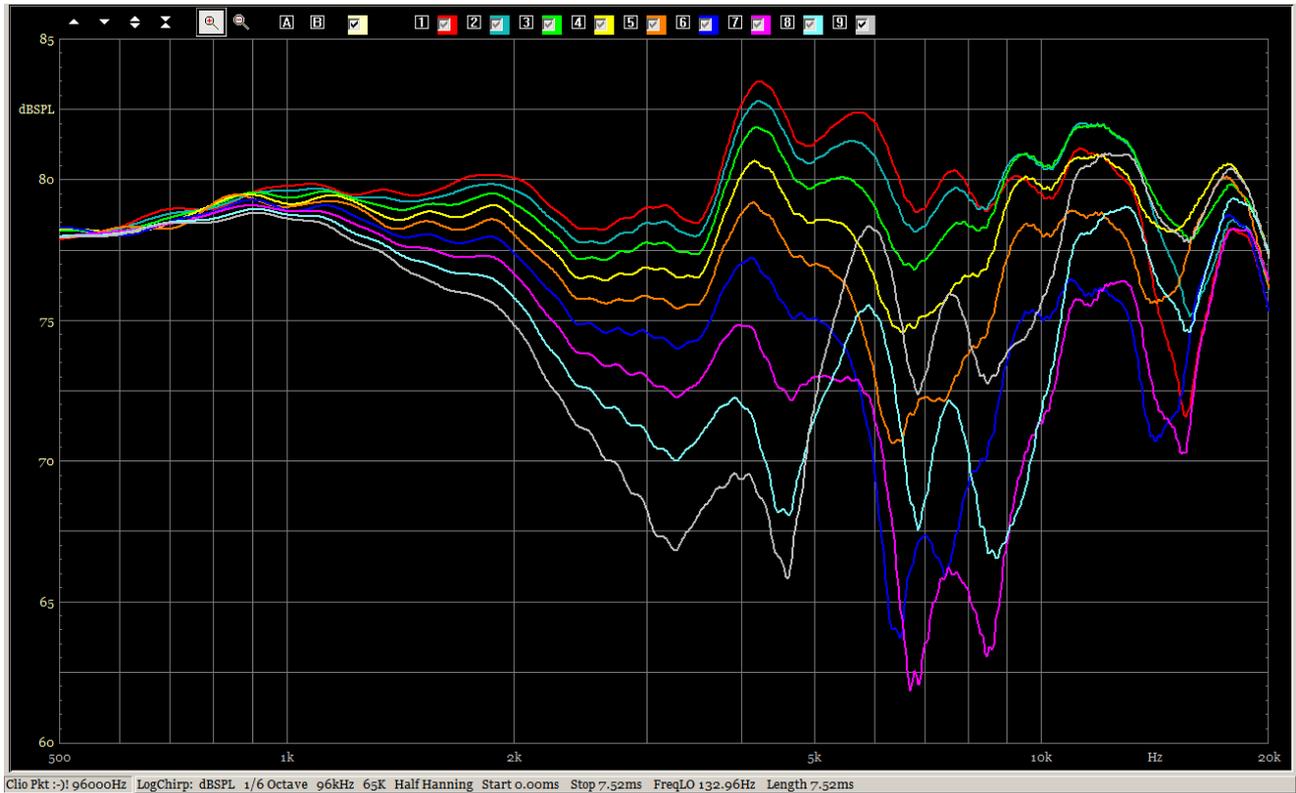
Courbes des reponses en fréquence du filtrage d'ordre 1 (6 dB/o) à 2 kHz, tweeter en polarité directe. Retards dans sa voie :

rouge	0 μ s	jaune	31 μ s	mauve	62 μ s
bleu	10 μ s	orange	42 μ s	bleu clair	73 μ s
vert	21 μ s	bleu foncé	52 μ s	gris	83 μ s

C'est la courbe orange, retard de 42 μ s appliqué au tweeter, qui offre les plus petites variations. Les retards supérieurs à cette valeur n'affectent guère la réponse en fréquence.



Reponse "step" du filtrage d'ordre 1 (6 dB/o) à 2 kHz,
tweeter en polarité inversée. Retard de 42 μ s dans sa voie .

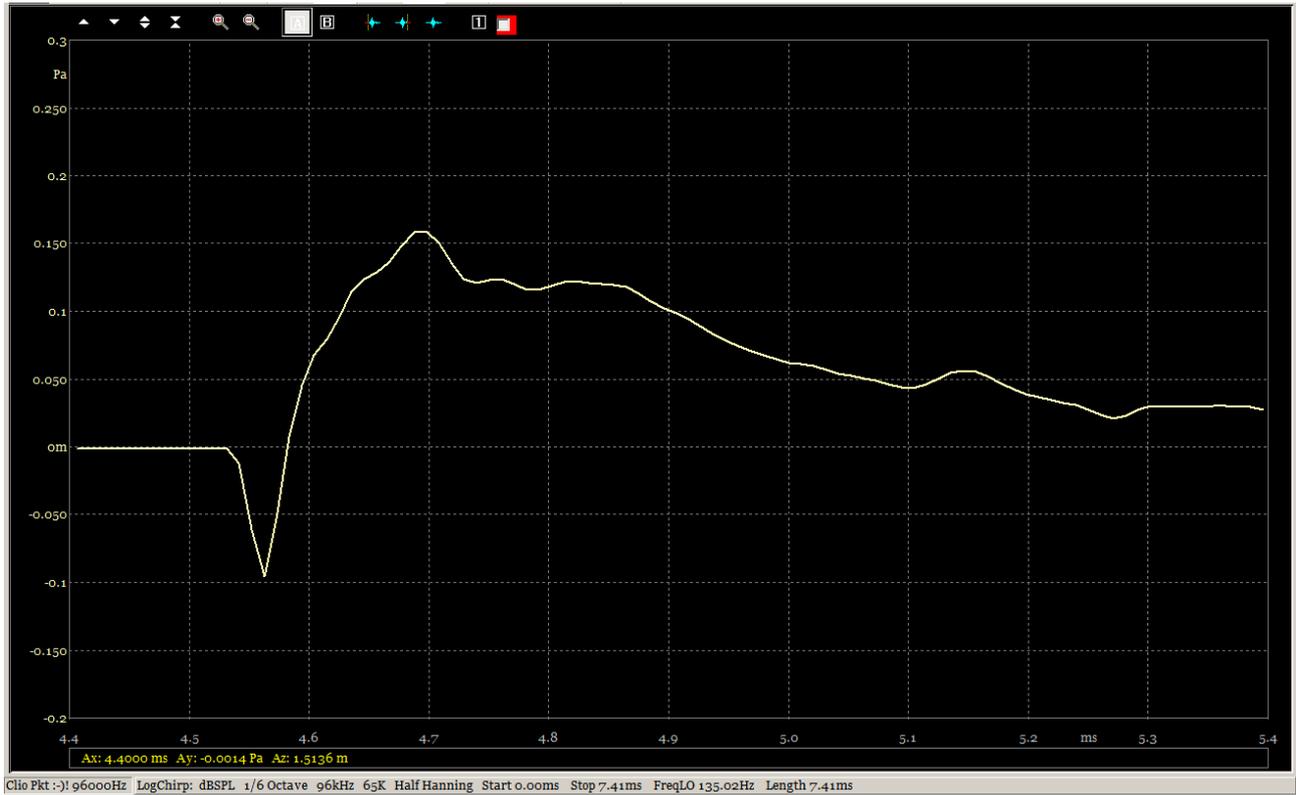


HD 1204-60 mm freq 3k48 06but Illum inv 0 to 83 us Discov.png

Courbes de réponse en fréquence du filtrage d'ordre 1 (6 dB/o) à 2 kHz, tweeter en polarité inverse. Retards dans sa voie :

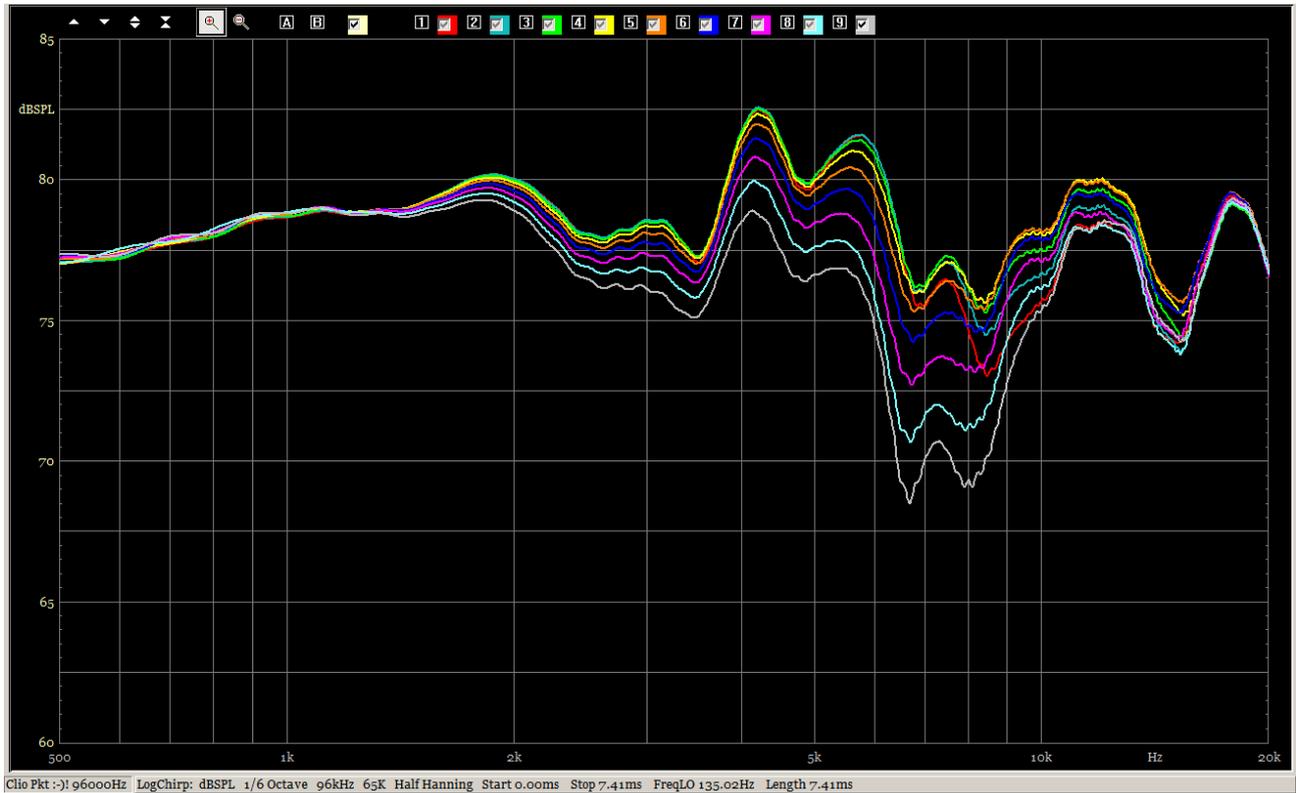
rouge	0 µs	jaune	31 µs	mauve	62 µs
bleu	10 µs	orange	42 µs	bleu clair	73 µs
vert	21 µs	bleu foncé	52 µs	gris	83 µs

Les réponses avec un retard du tweeter inférieur à 42 µs offrent une réponse plus régulière que celle avec un retard à 42 µs. Les retards supérieures à cette valeur provoquent des irrégularités plus grandes.



IA 1204-60 mm step 3k48 12lir Illum inv 42 us Discov.png

Reponse "step" du filtrage d'ordre 2 (12 dB/o) Linkwitz-Riley à 3,48 kHz, conformément à sa théorie, branchement du tweeter en polarité inversée. Retard de 42 μ s dans sa voie.

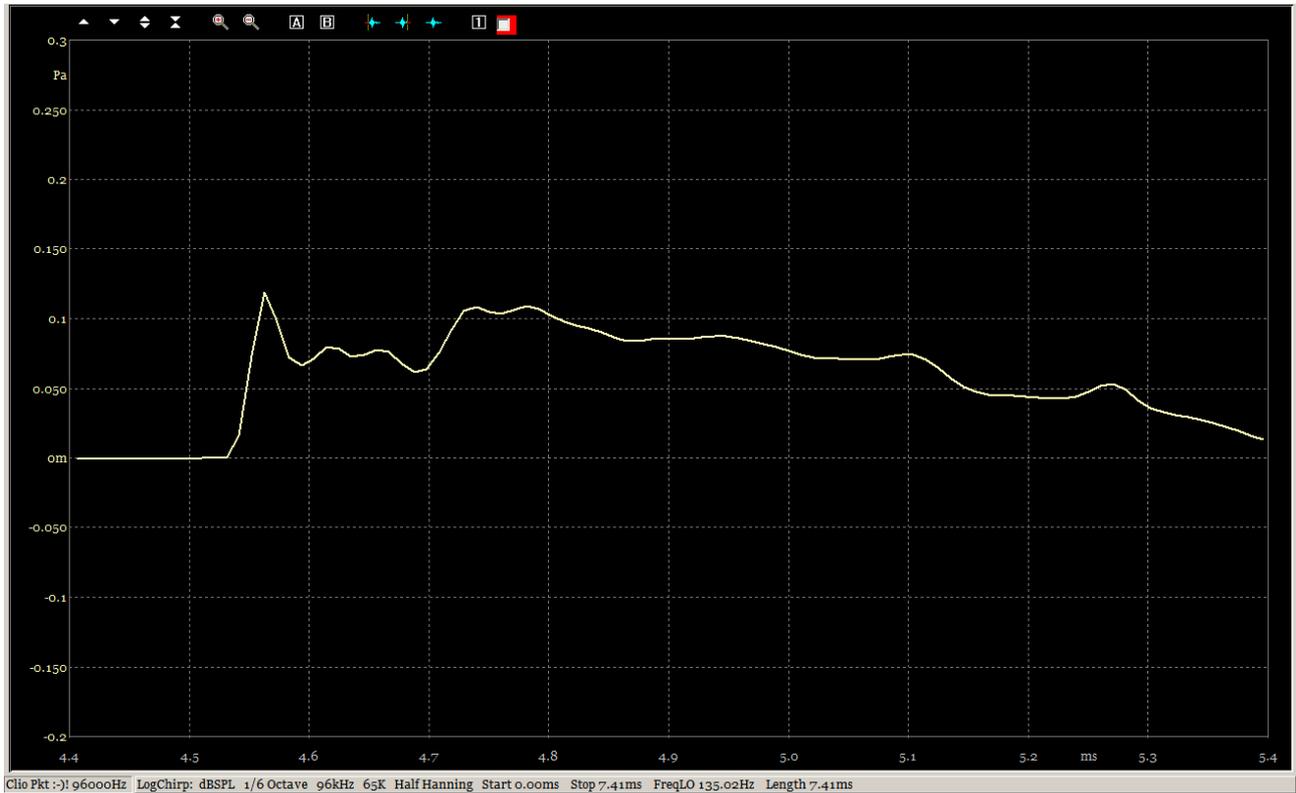


IB 1204-60 mm freq 3k48 12lir Illum inv 0 to 83 us D Discov.png

Reponses en fréquence du filtrage d'ordre 2 (12 dB/o) Linkwitz-Riley à 2 kHz, conformément à sa théorie, branchement du tweeter en polarité inversée. Retards dans sa voie :

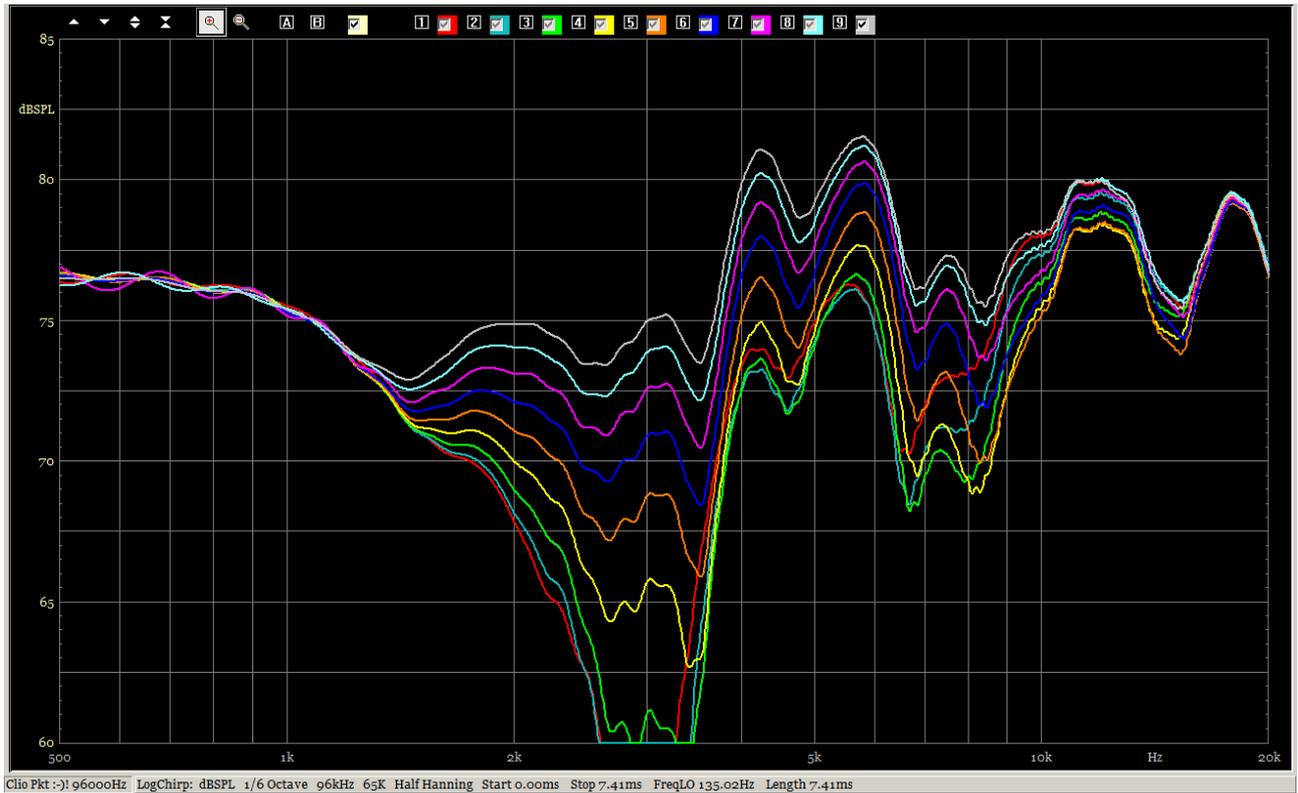
rouge	0 μs	jaune	31 μs	mauve	62 μs
bleu	10 μs	orange	42 μs	bleu clair	73 μs
Vert	21 μs	bleu foncé	52 μs	gris	83 μs

Peu distincte des courbes de retard moindre, la courbe orange du retard de 42 μs est la plus régulière.



IC 1204-60 mm step 3k48 **12lir** Illum **dir 42 us** Discov.png

Reponse "step" du filtrage d'ordre 2 (12 dB/o) Linkwitz-Riley à 2 kHz.
Tweeter en polarité directe, retard de 42 μ s dans sa voie.

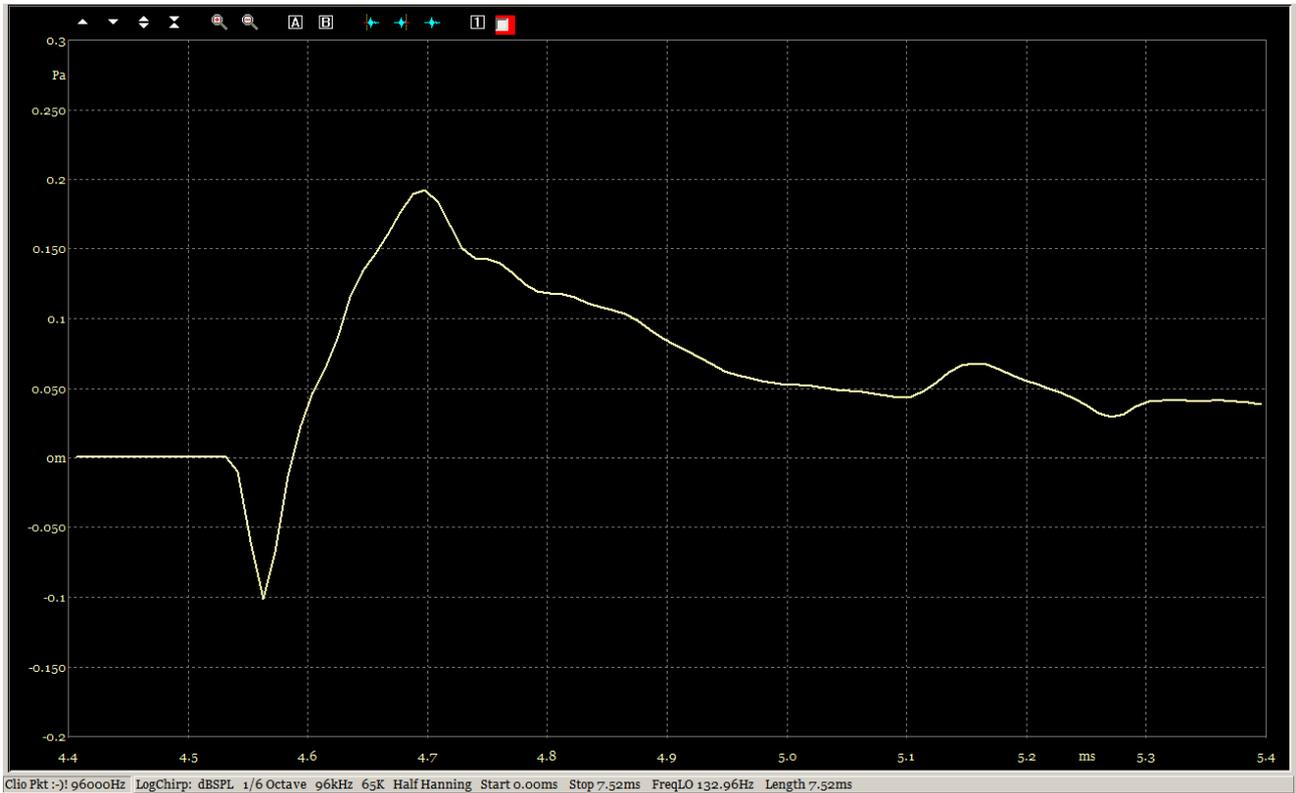


ID 1204-60 mm freq 3k48 12lir Illum dir 0 to 83 us Discov.png

Reponse en fréquence du filtrage d'ordre 2 (12 dB/o) Linkwitz-Riley à 3,48 kHz, tweeter en polarité directe. Retards dans sa voie :

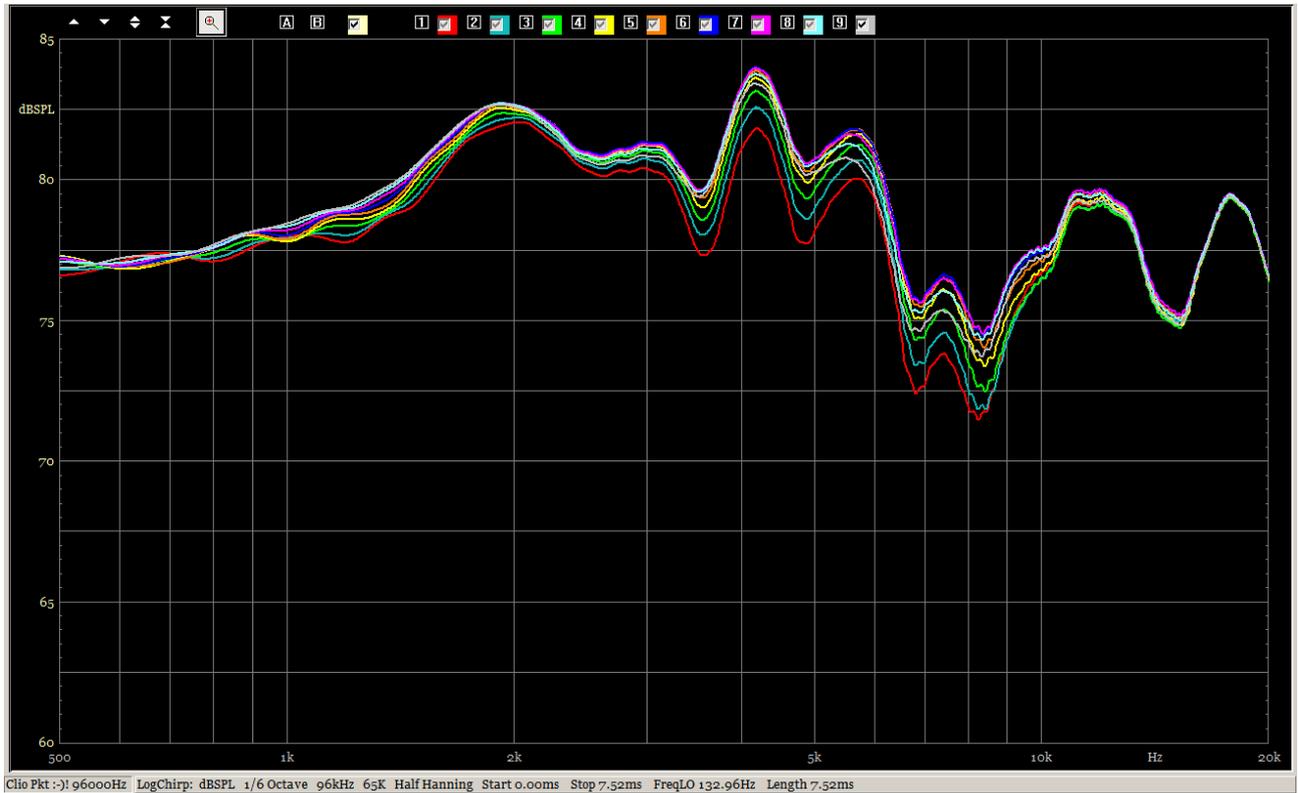
rouge	0 μ s	jaune	31 μ s	mauve	62 μ s
bleu	10 μ s	orange	42 μ s	bleu clair	73 μ s
Vert	21 μ s	bleu foncé	52 μ s	gris	83 μ s

Les retards inférieurs à 42 μ s donnent des courbes espacées les unes des autres. Elles se resserrent au dessus.



JA 1204-60 mm step 3k48 **18but** Illum **inv 42 us** Discov.png

Reponse "step" du filtrage d'ordre 3 (18 dB/o) Butterworth à 3.48 kHz. Conformément à sa théorie, le tweeter est branché en polarité inverse. Retard de 42 μ s dans sa voie.

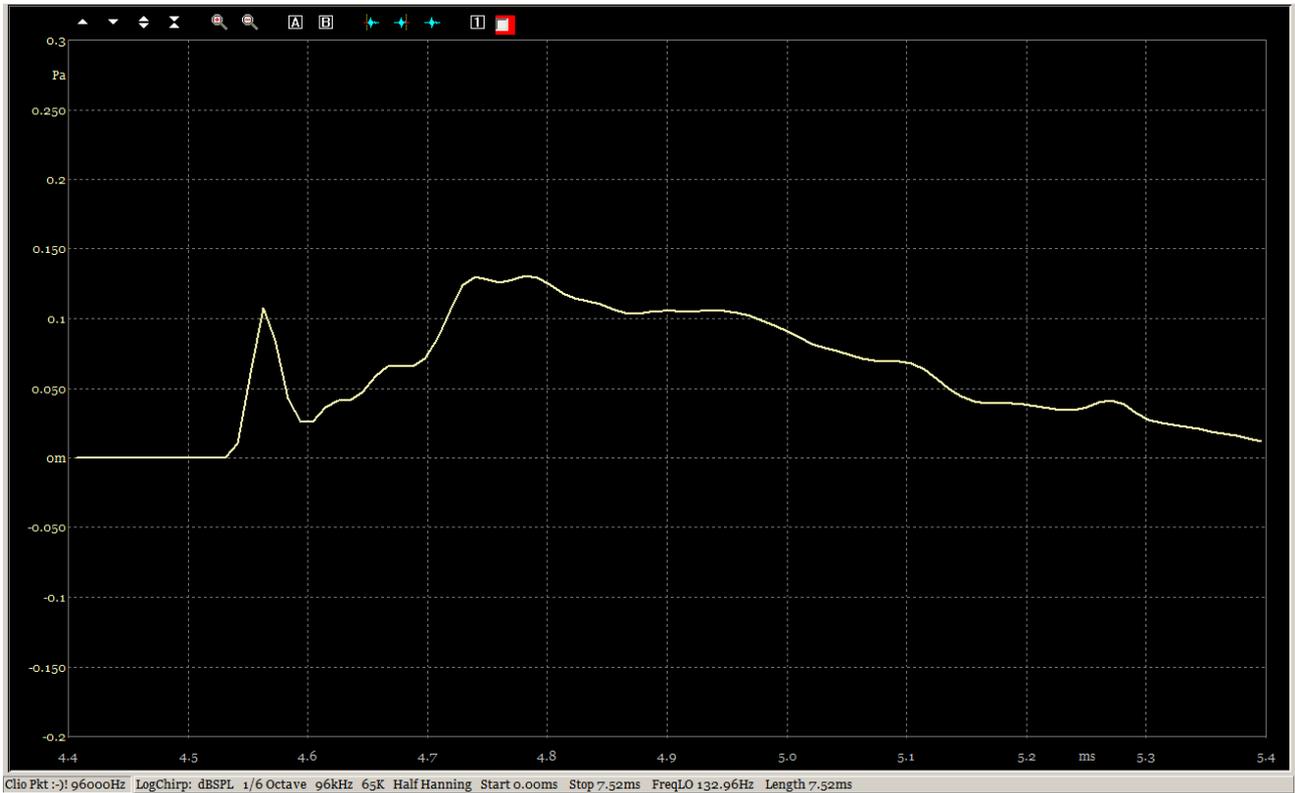


JB 1204-60 mm freq 3k48 **18but** Illum inv 0 to 83 us Discov.png

Reponses en fréquence du filtrage d'ordre 3 (18 dB/o) Butterworth à 3.48 kHz, Conformément à sa théorie, le tweeter est branché en polarité inverse. Retards dans sa voie :

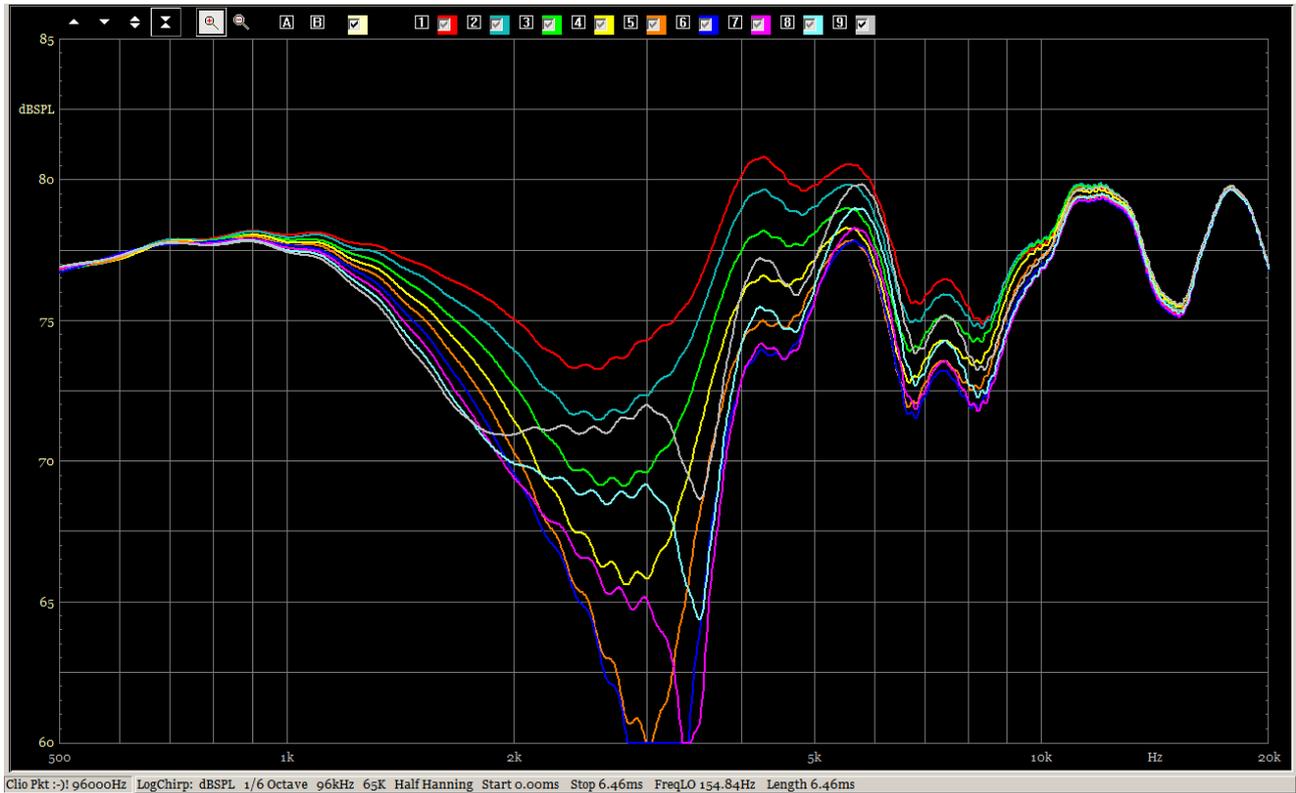
rouge	0 μ s	jaune	31 μ s	mauve	62 μ s
bleu	10 μ s	orange	42 μ s	bleu clair	73 μ s
Vert	21 μ s	bleu foncé	52 μ s	gris	83 μ s

Les courbes sont très resserrées surtout au dessus 42 μ s.



JC 1204-60 mm step 3k48 **18but** Illum **dir 42 us** Discov.png

Reponse en "step" du filtrage d'ordre 3 (18 dB/o) Butterworth à 3.48 kHz.
 Tweeter en polarité directe. Retard de 42 μ s dans sa voie.

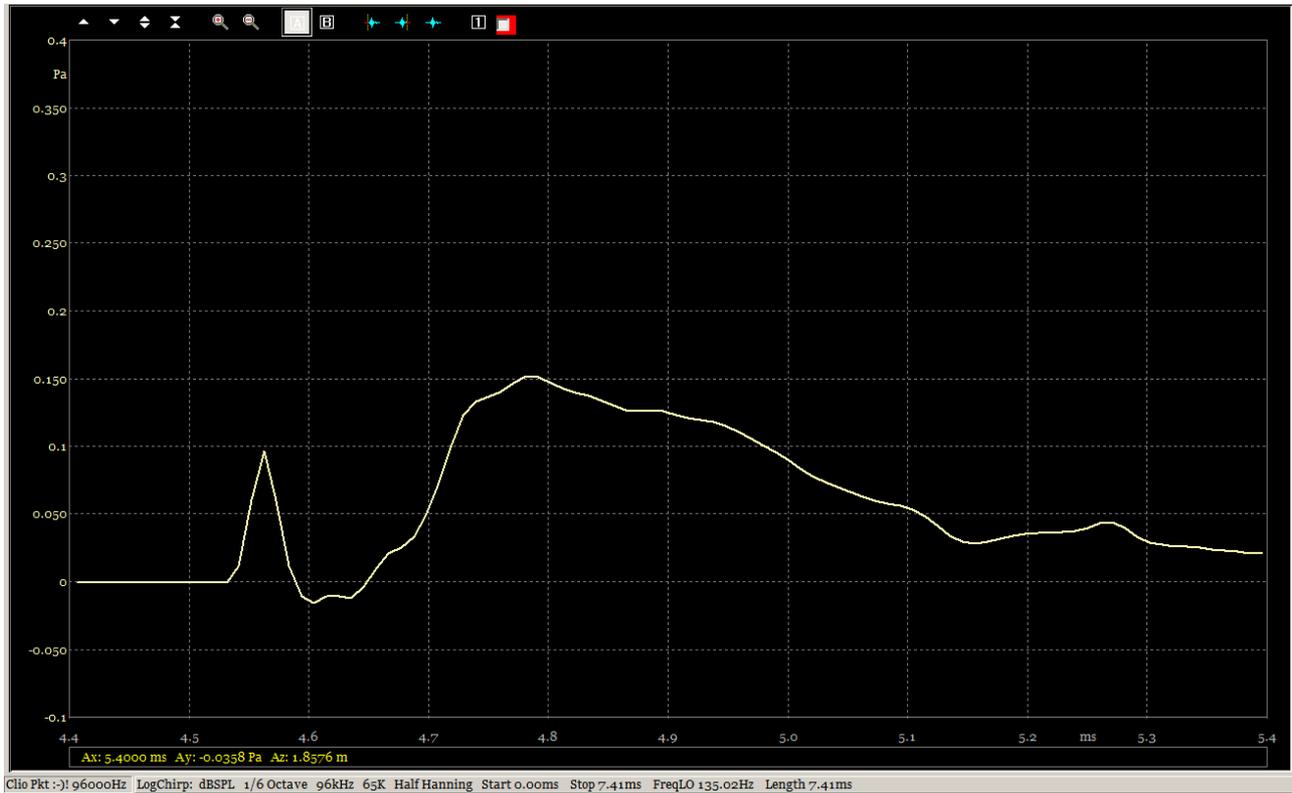


JD 1204-60 mm freq 3k48 18but Illum dir 0 to 83 us Discov.png

Reponses en fréquence du filtrage d'ordre 3 (18 dB/o) Butterworth à 3.48 kHz.
 Tweeter en polarité directe. Retard dans sa voie :

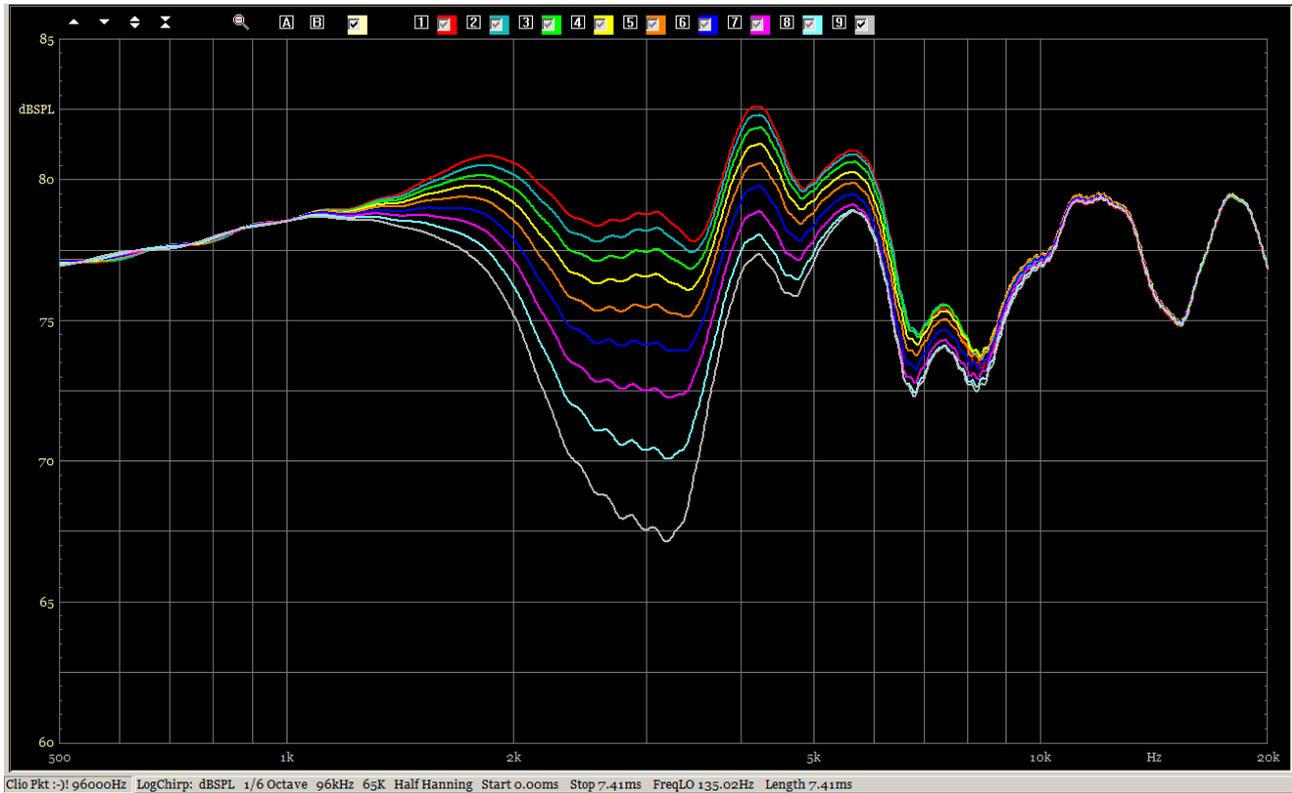
rouge	0 μs	jaune	31 μs	mauve	62 μs
bleu	10 μs	orange	42 μs	bleu clair	73 μs
Vert	21 μs	bleu foncé	52 μs	gris	83 μs

Le retard a une grande influence sur les courbes de réponse en fréquence, elles sont bien espacées.
 Les creux les plus prononcés se trouvent sur les courbes avec un retard de 42 μs, 52 μs et 62 μs.



KA 1204-60 mm step 3k48 **24**lir Illum **dir 42 us** Discov.png

Reponse en "step" du filtrage d'ordre 4 (24 dB/o) Linkwitz-Riley à 3.48 kHz. Conformément à sa théorie, le tweeter est branché en polarité directe. Retard de 42 μ s dans sa voie.

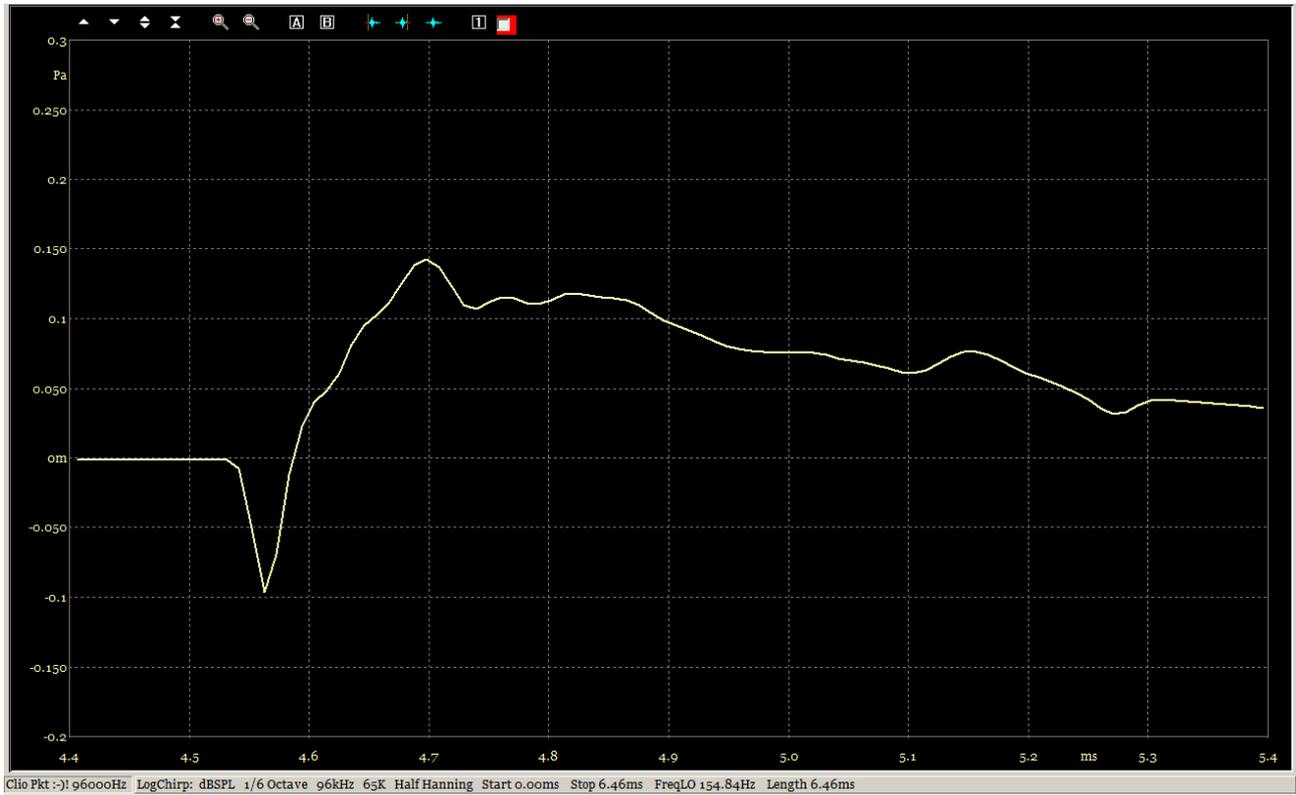


KB 1204-60 mm freq 3k48 24lir Illum dir 0 to 83 us Discov.png

Réponses en fréquence du filtrage d'ordre 4 (24 dB/o) Linkwitz-Riley à 3,48 kHz. Conformément à sa théorie, le tweeter est branché en polarité directe. Retards dans sa voie :

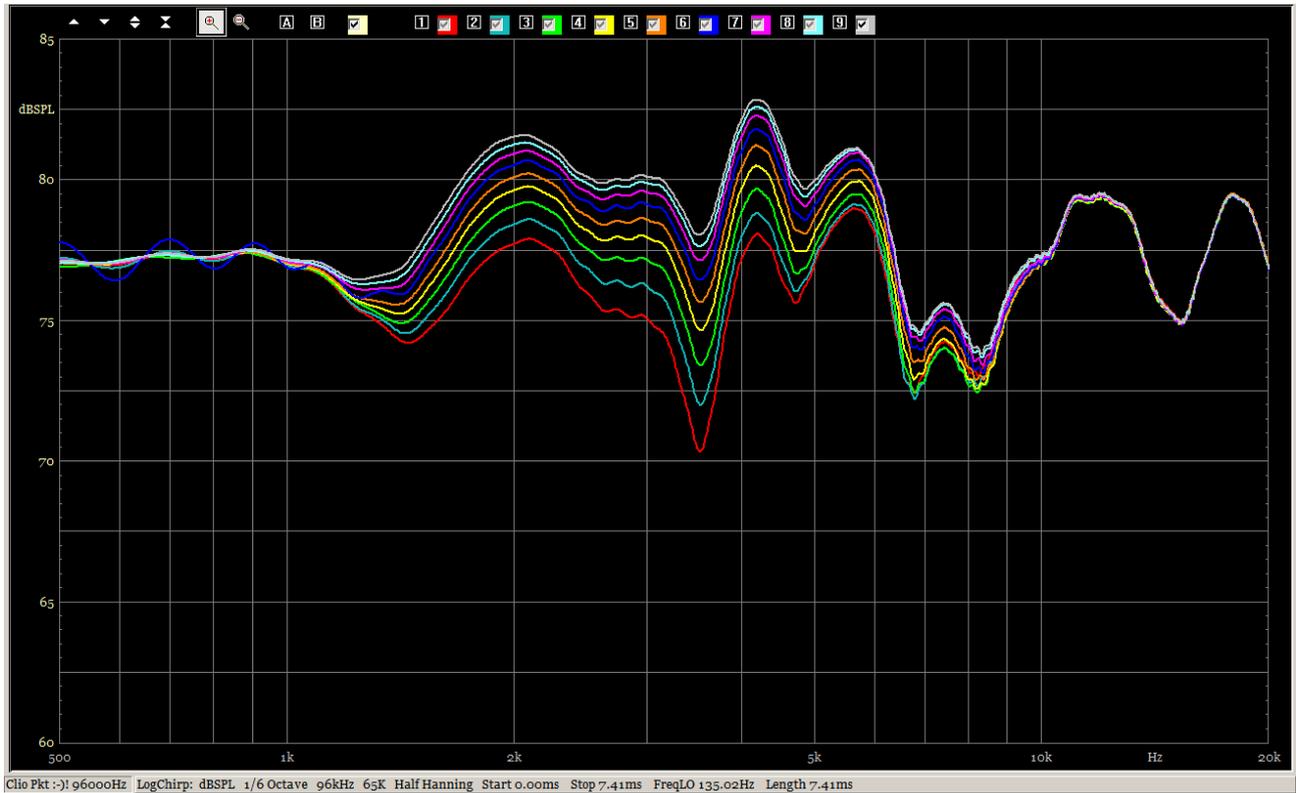
rouge	0 μs	jaune	31 μs	mauve	62 μs
bleu	10 μs	orange	42 μs	bleu clair	73 μs
Vert	21 μs	bleu foncé	52 μs	gris	83 μs

La courbe orange, retard de 42 μs, est celle qui présente la moindre variation d'amplitude.



KC 1204-60 mm step 3k48 **24lir** Illum **inv 42 us** Discov.png

Réponse en "step" du filtrage d'ordre 4 (24 dB/o) Linkwitz-Riley à 3.48 kHz.
 Tweeter branché en polarité inverse. Retard de 42 μ s dans sa voie.

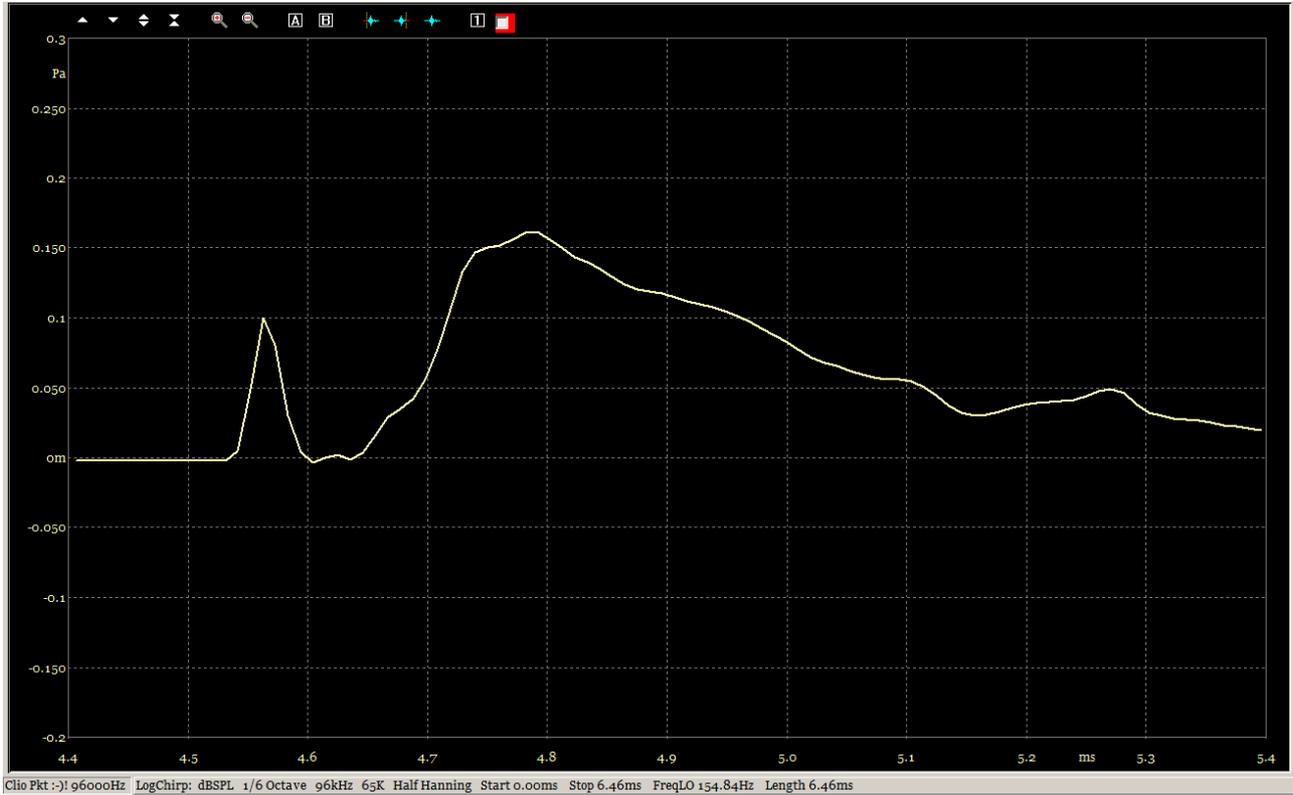


KD 1204-60 mm freq 3k48 24lir Illum inv 0 to 83 us Discov.png

Réponses en fréquence du filtrage d'ordre 4 (24 dB/o) Linkwitz-Riley à 3,48 kHz.
Tweeter branché en polarité inverse. Retards dans sa voie :

rouge	0 μ s	jaune	31 μ s	mauve	62 μ s
bleu	10 μ s	orange	42 μ s	bleu clair	73 μ s
Vert	21 μ s	bleu foncé	52 μ s	gris	83 μ s

On pourrait s'attendre à ce que le retard de 42 μ s donne le creux le plus prononcé, ce n'est pas le cas.

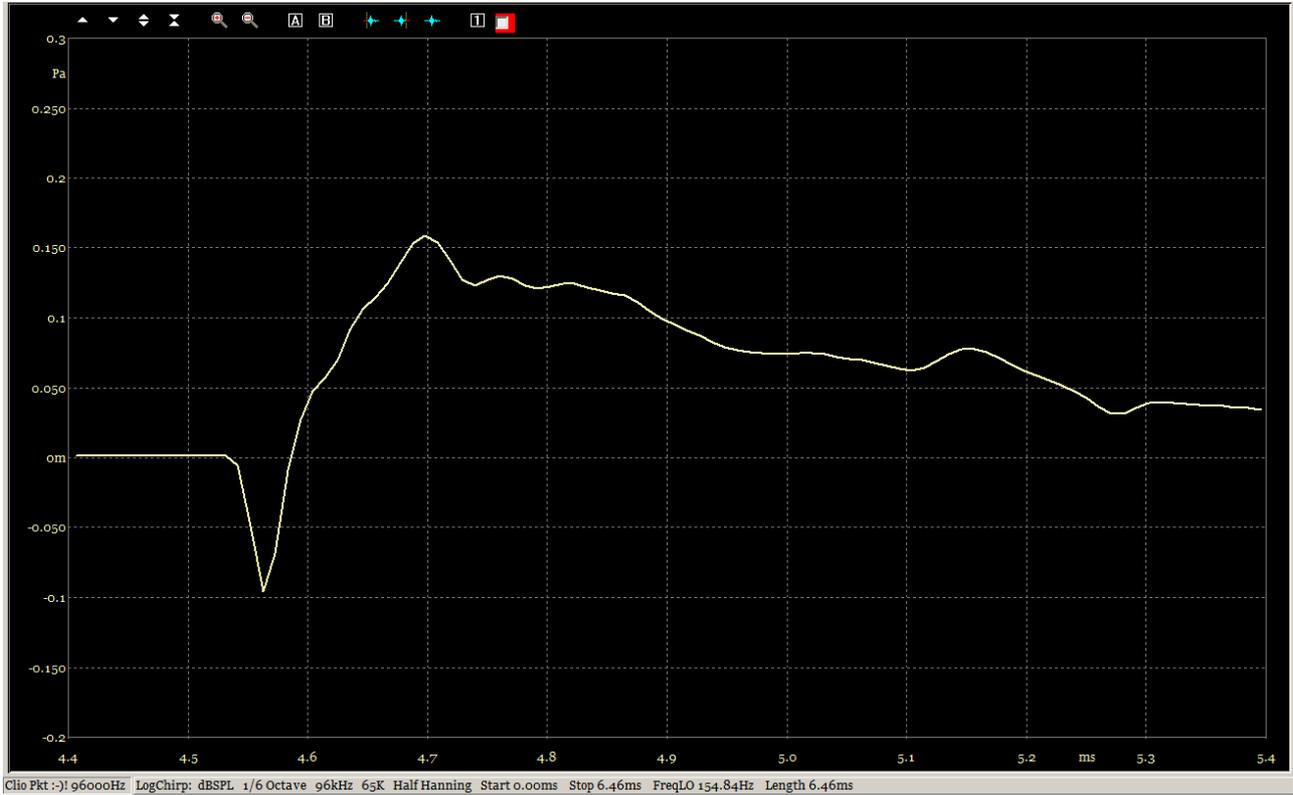


LA 1204-60 mm step 3k48 36ntm Illum dir 42 us Discov.png

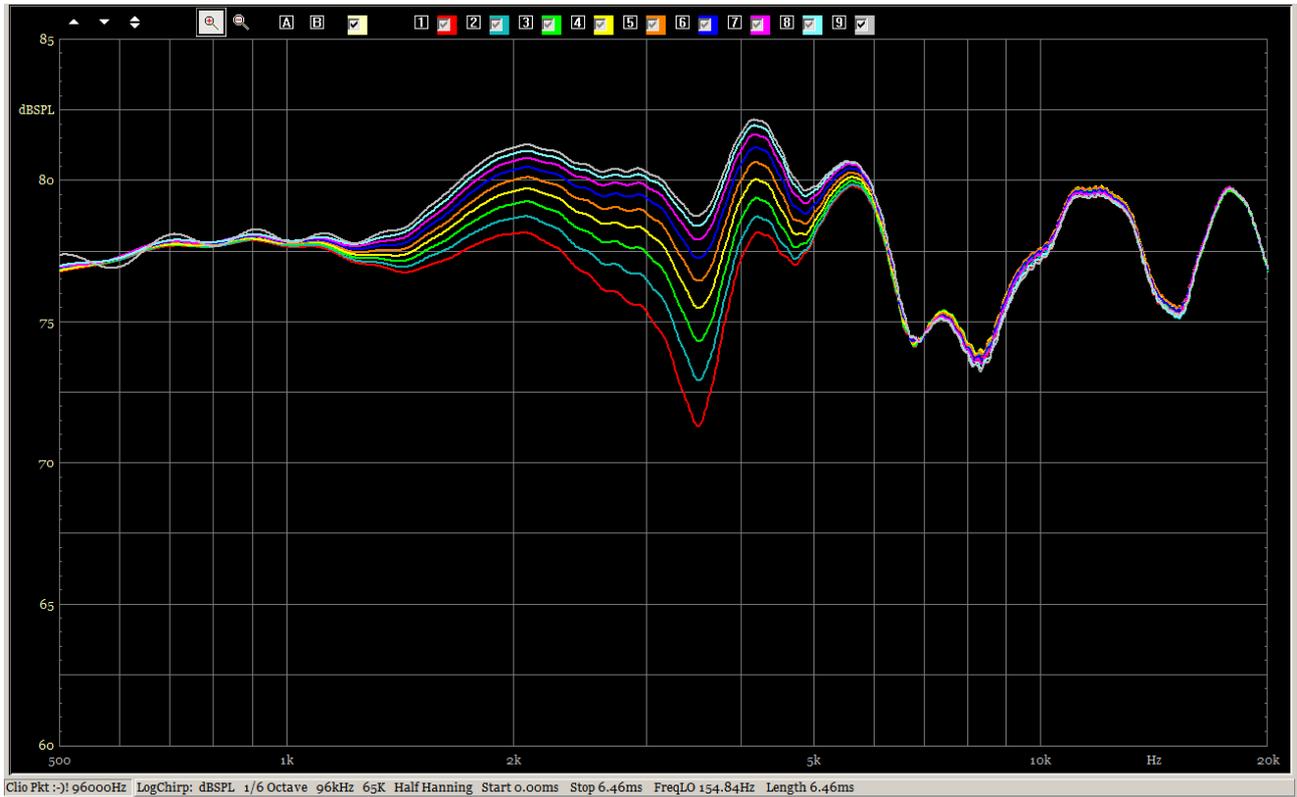


LB 1204-60 mm freq 3k48 36ntm Illum dir 0 to 83 us Discov.png

rouge	0 μ s	jaune	31 μ s	mauve	62 μ s
bleu	10 μ s	orange	42 μ s	bleu clair	73 μ s
Vert	21 μ s	bleu foncé	52 μ s	gris	83 μ s

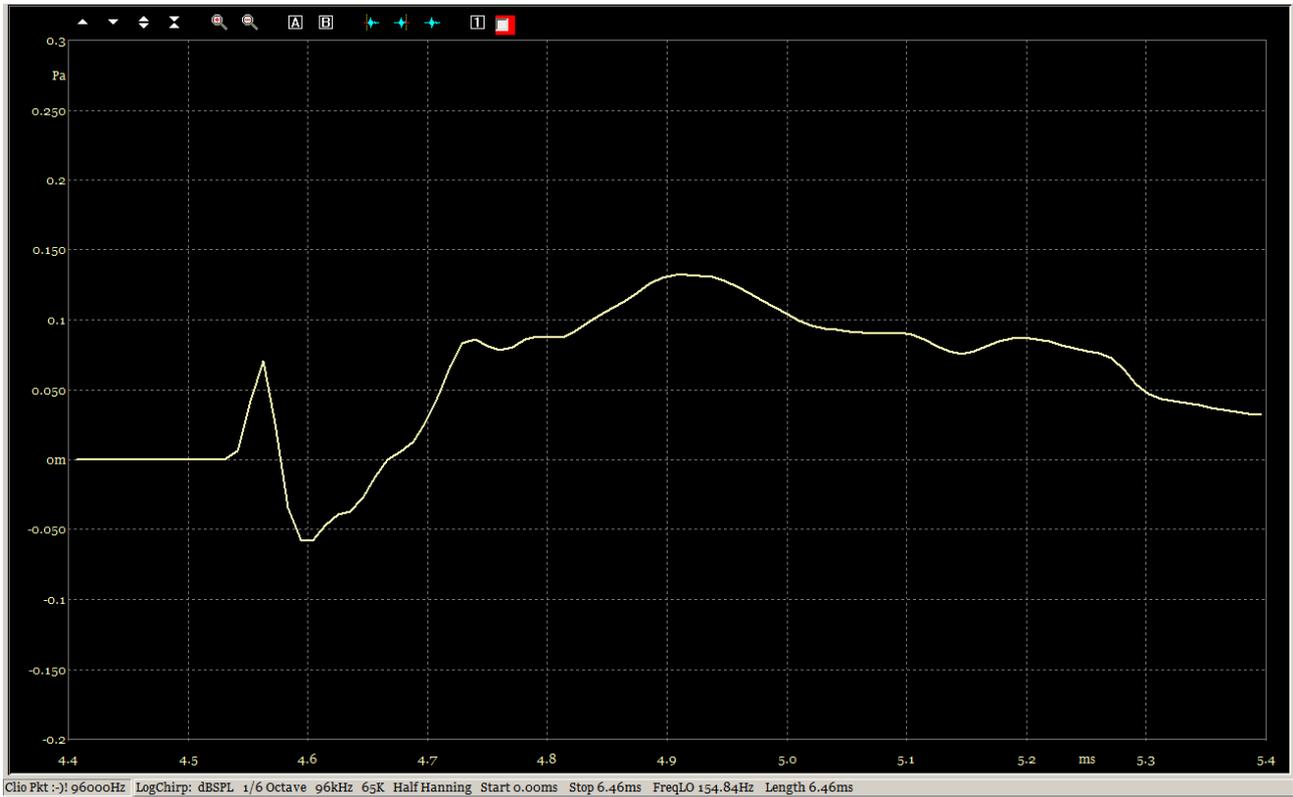


LC 1204-60 mm step 3k48 36ntm Illum inv 42 us Discov.png

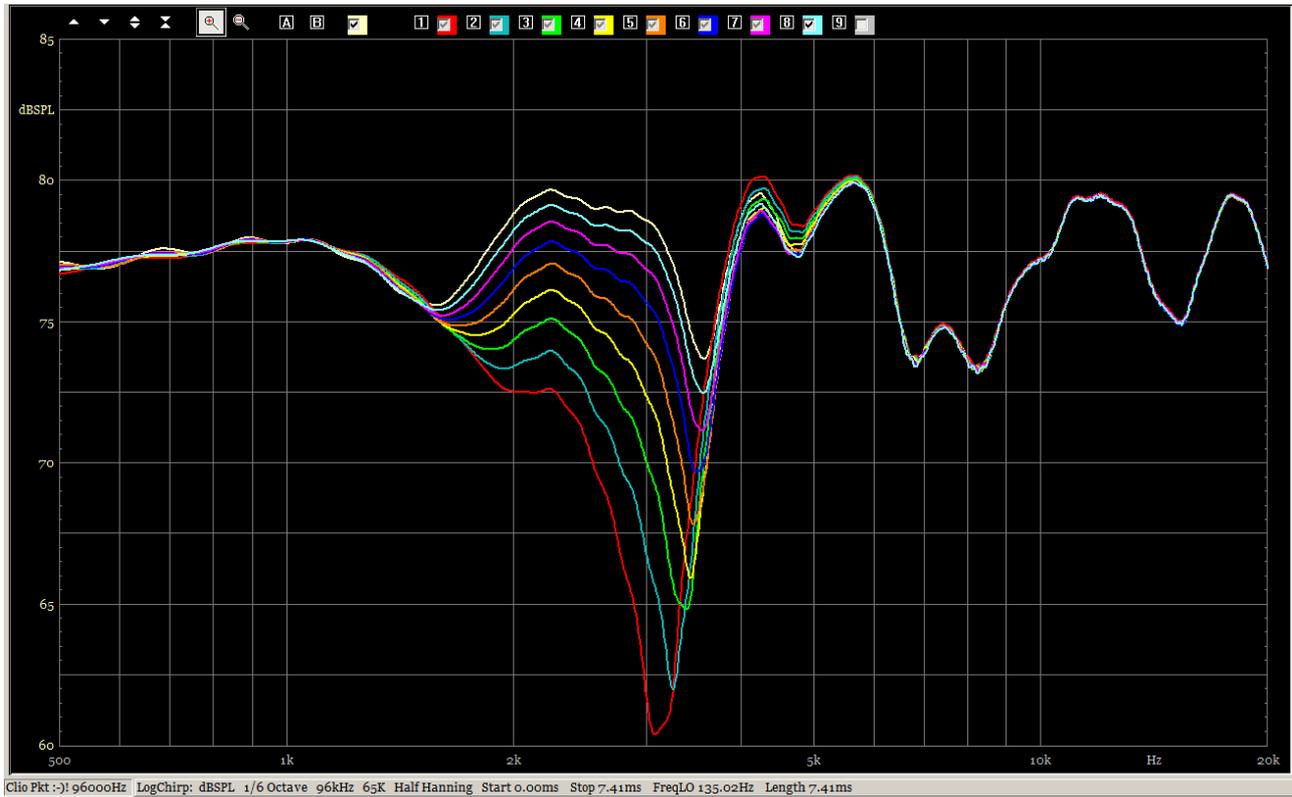


LD 1204-60 mm freq 3k48 36ntm Illum inv 0 to 83 us Discov.png

rouge	0 μ s	jaune	31 μ s	mauve	62 μ s
bleu	10 μ s	orange	42 μ s	bleu clair	73 μ s
Vert	21 μ s	bleu foncé	52 μ s	gris	83 μ s

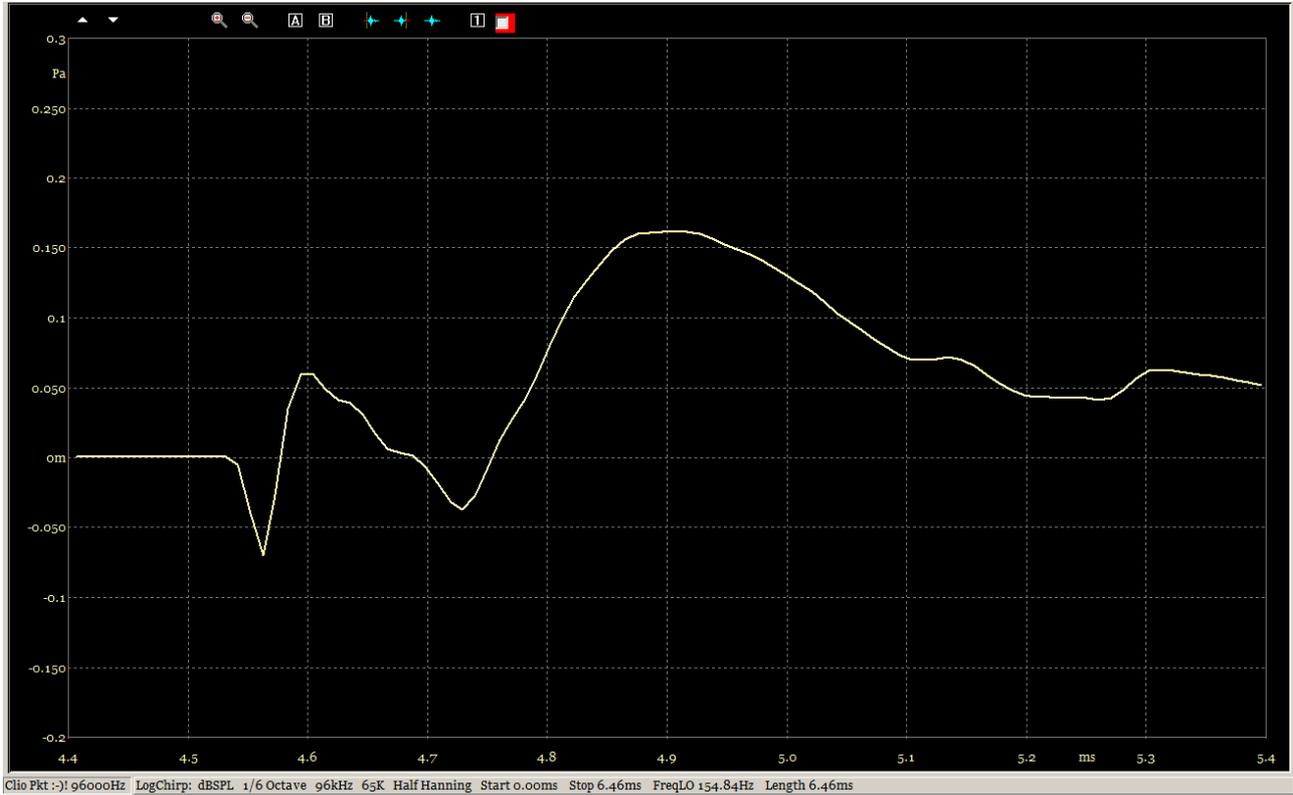


MA 1204-60 mm step 3k48 48lir Illum dir 42 us Discov.png

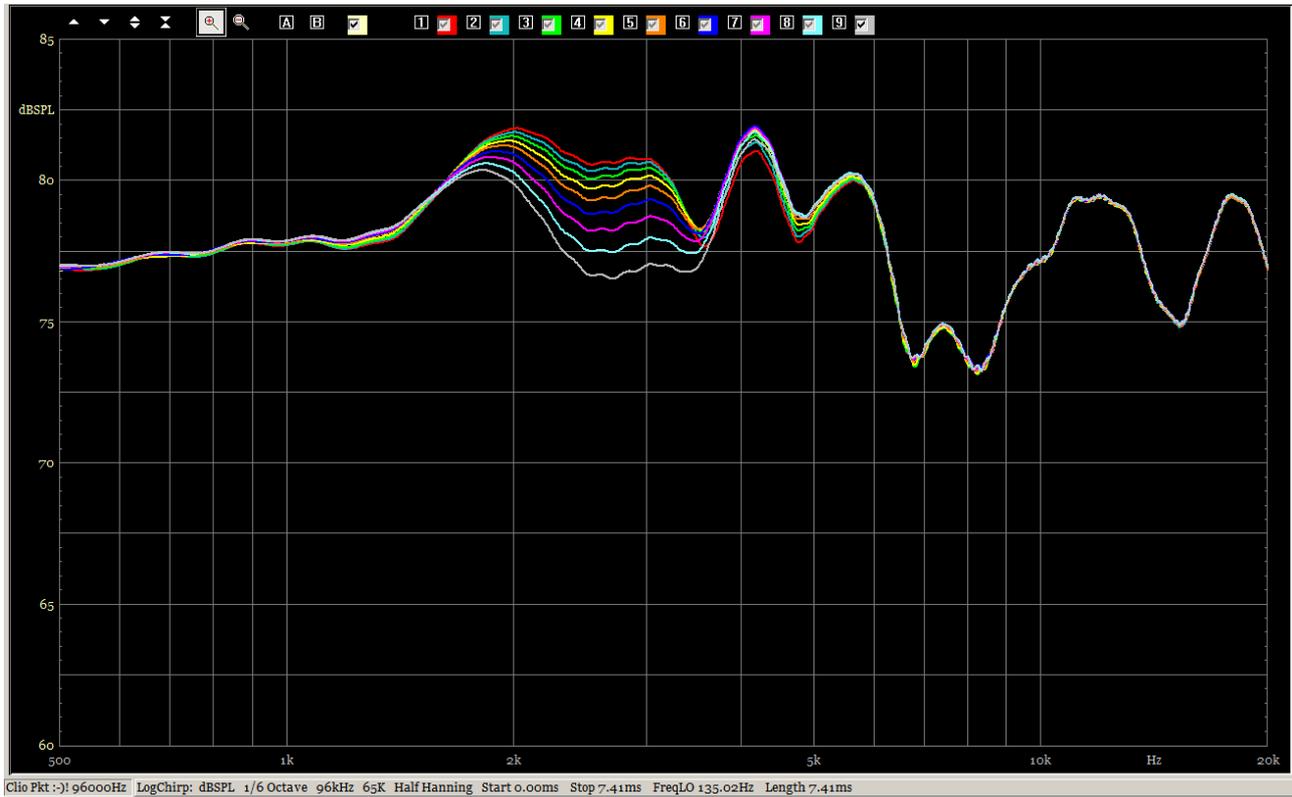


MB 1204-60 mm freq 3k48 48lir Illum dir 0 to 83 us Discov.png

rouge	0 μ s	jaune	31 μ s	mauve	62 μ s
bleu	10 μ s	orange	42 μ s	bleu clair	73 μ s
Vert	21 μ s	bleu foncé	52 μ s	gris	83 μ s

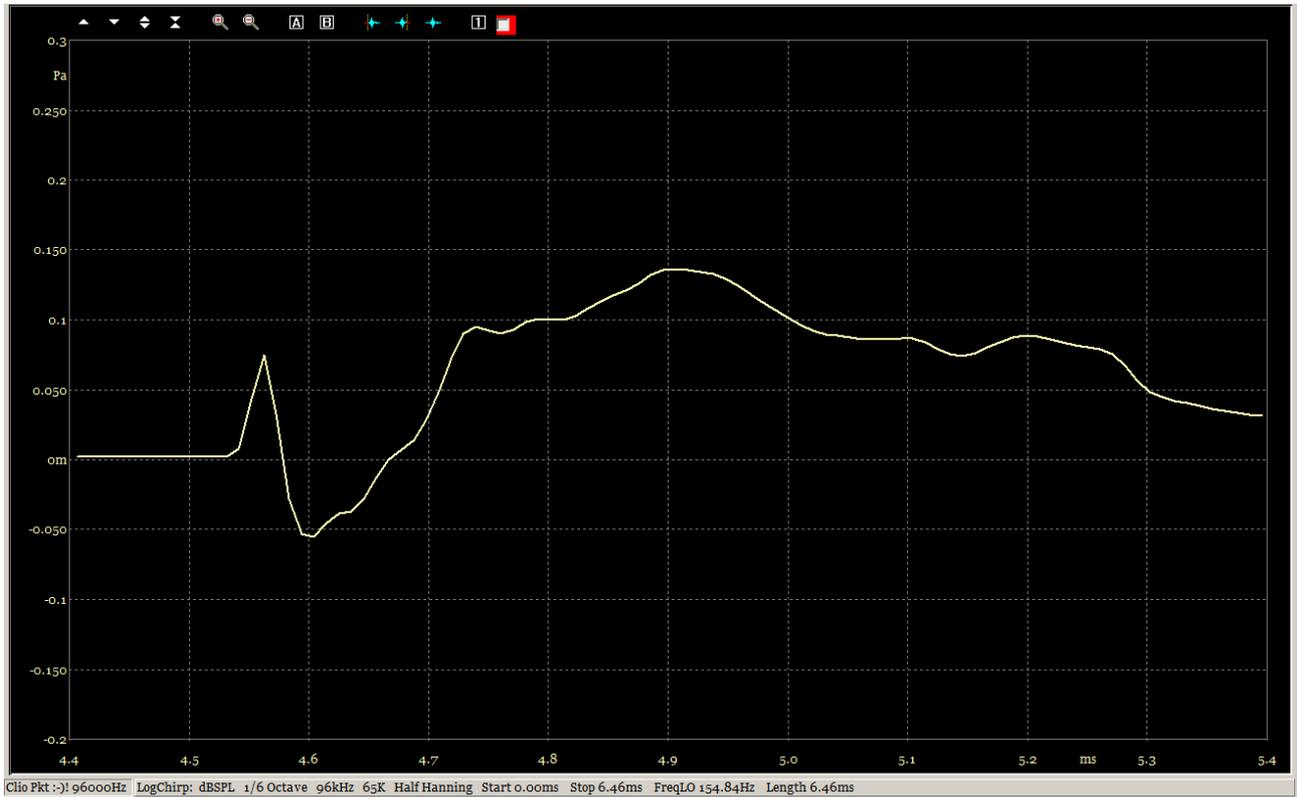


MC 1204-60 mm step 3k48 48lir Illum inv 42 us Discov.png

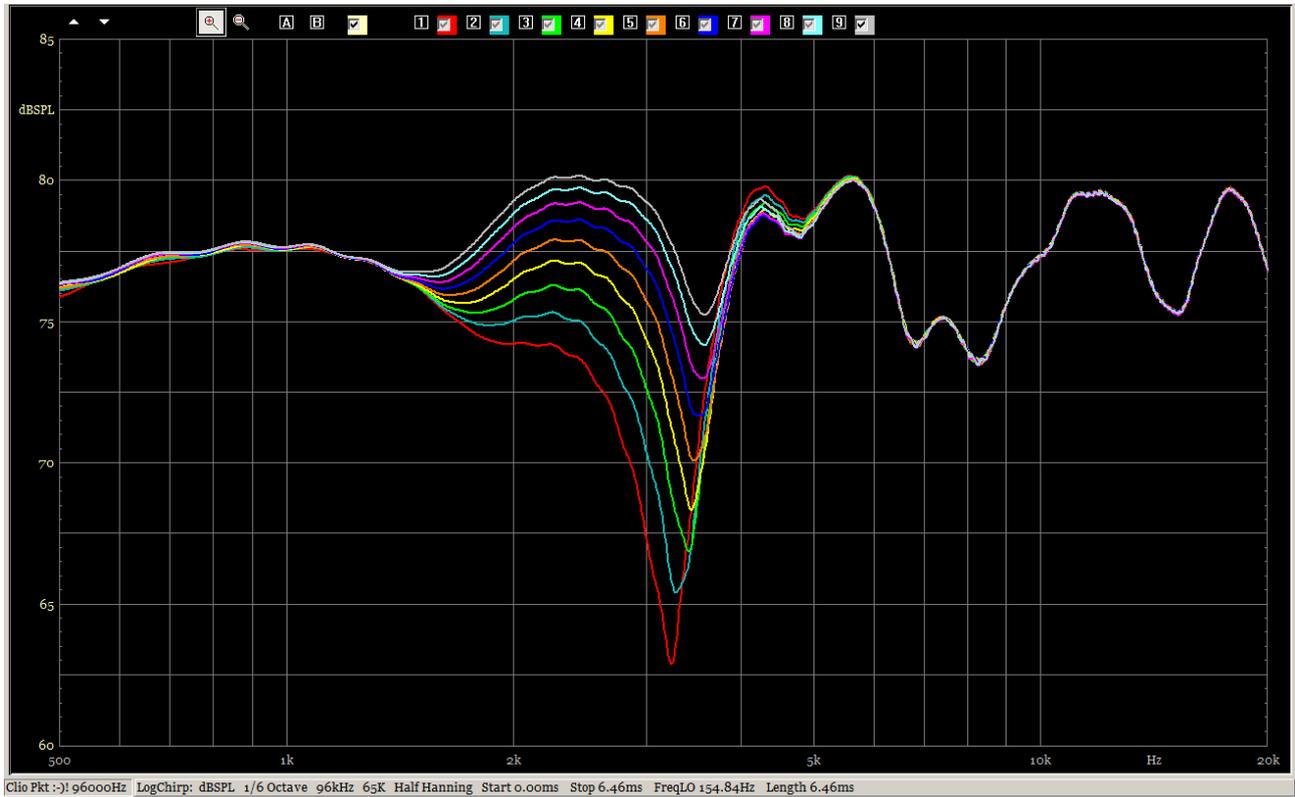


MD 1204-60 mm freq 3k48 48lir Illum inv 0 to 83 us Discov.png

rouge	0 μ s	jaune	31 μ s	mauve	62 μ s
bleu	10 μ s	orange	42 μ s	bleu clair	73 μ s
Vert	21 μ s	bleu foncé	52 μ s	gris	83 μ s

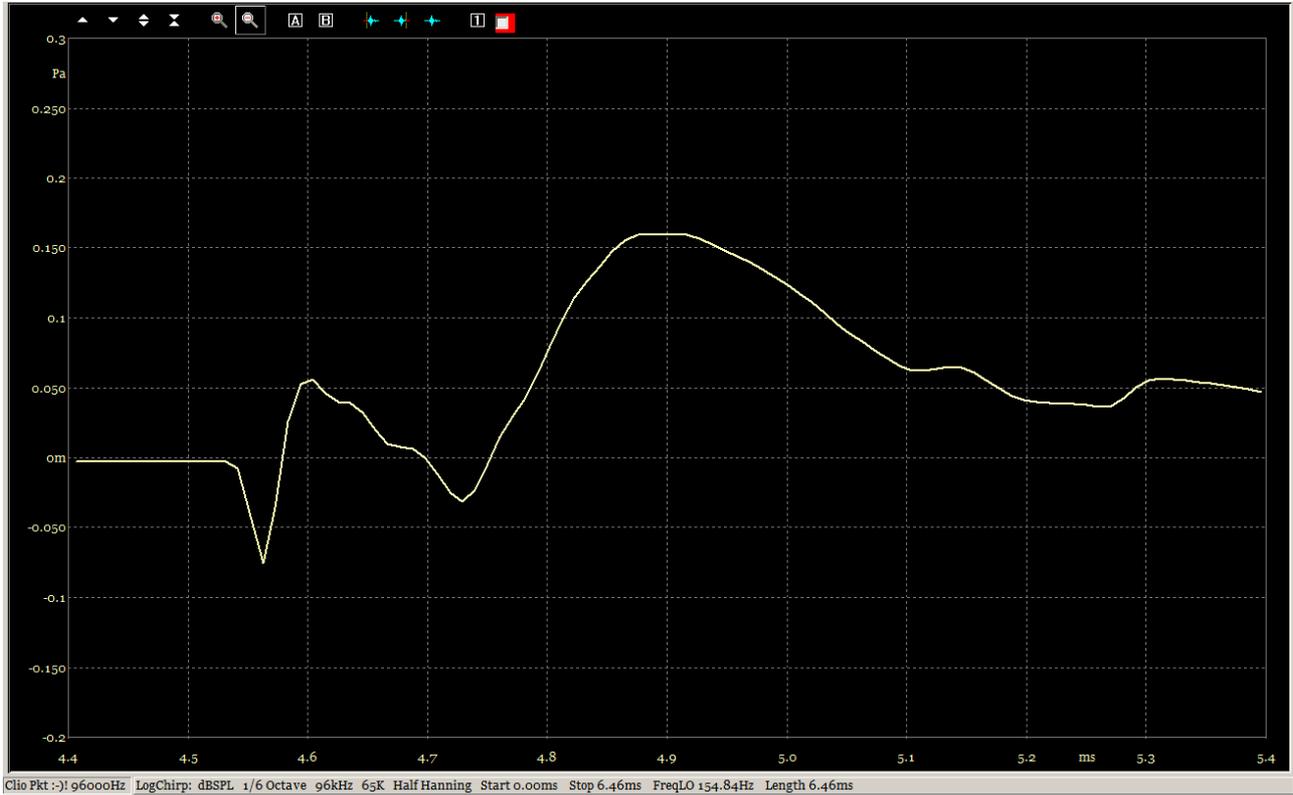


NA 1204-60 mm step 3k48 52ntm Illum dir 42 us Discov.png

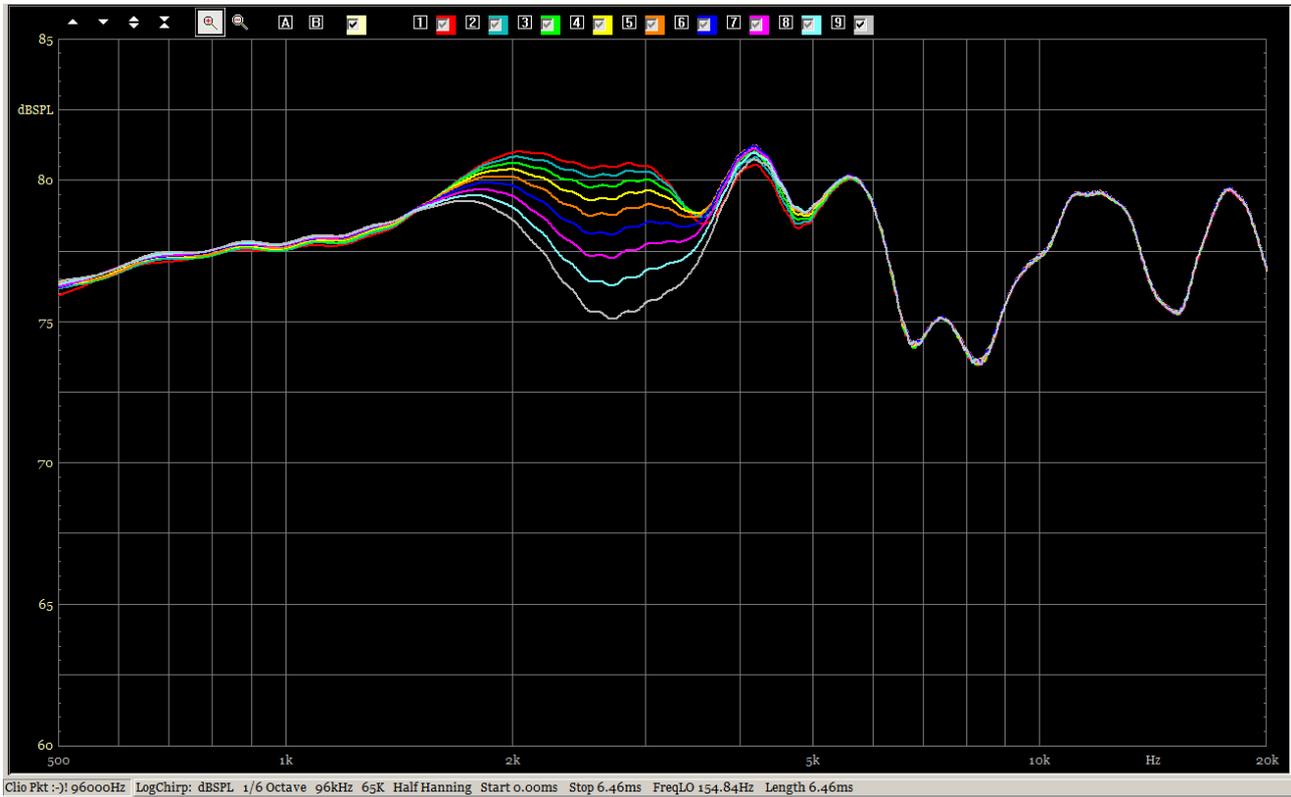


NB 1204-60 mm freq 3k48 52ntm Illum dir 0 to 83 us Discov.png

rouge	0 μ s	jaune	31 μ s	mauve	62 μ s
bleu	10 μ s	orange	42 μ s	bleu clair	73 μ s
Vert	21 μ s	bleu foncé	52 μ s	gris	83 μ s



NC 1204-60 mm step 3k48 52ntm Illum inv 42 us Discov.png



ND 1204-60 mm freq 3k48 52ntm Illum inv 0 to 83 us Discov.png

rouge	0 μ s	jaune	31 μ s	mauve	62 μ s
bleu	10 μ s	orange	42 μ s	bleu clair	73 μ s
Vert	21 μ s	bleu foncé	52 μ s	gris	83 μ s

INVESTIGATIONS SUR L'ALIGNEMENT VERTICAL DES HAUT-PARLEURS

Deuxième partie

Illum et Revel

Ecart entre les haut-parleurs : 274 mm

Distance de mesure : 1204 mm

Pour cette deuxième partie, le même tweeter a été associé à un grave medium réputé.
L'ensemble est constitué :

- d'un tweeter à dôme de 25 mm de diamètre émissif, le ScanSpeak Illuminator D3004-660000 (abrégé en "Illum" dans le texte et les noms de fichier).
Résonance $f_c = 500$ Hz, amortissement $Q_{tc} = 0,75$
- d'un grave de diamètre nominal 170 mm, le ScanSpeak Revelator (abrégé en "Revel" dans le texte et le nom des fichiers)
Résonance $f_c = 50$ Hz, amortissement $Q_{tc} = 0,69$.

Ces haut-parleurs sont montés dans des caissons différents mis en affleurement pour former un baffle commun. Cette configuration a imposé ici une séparation de leurs axes de 274 mm, supérieure à ce qui se pratique habituellement.

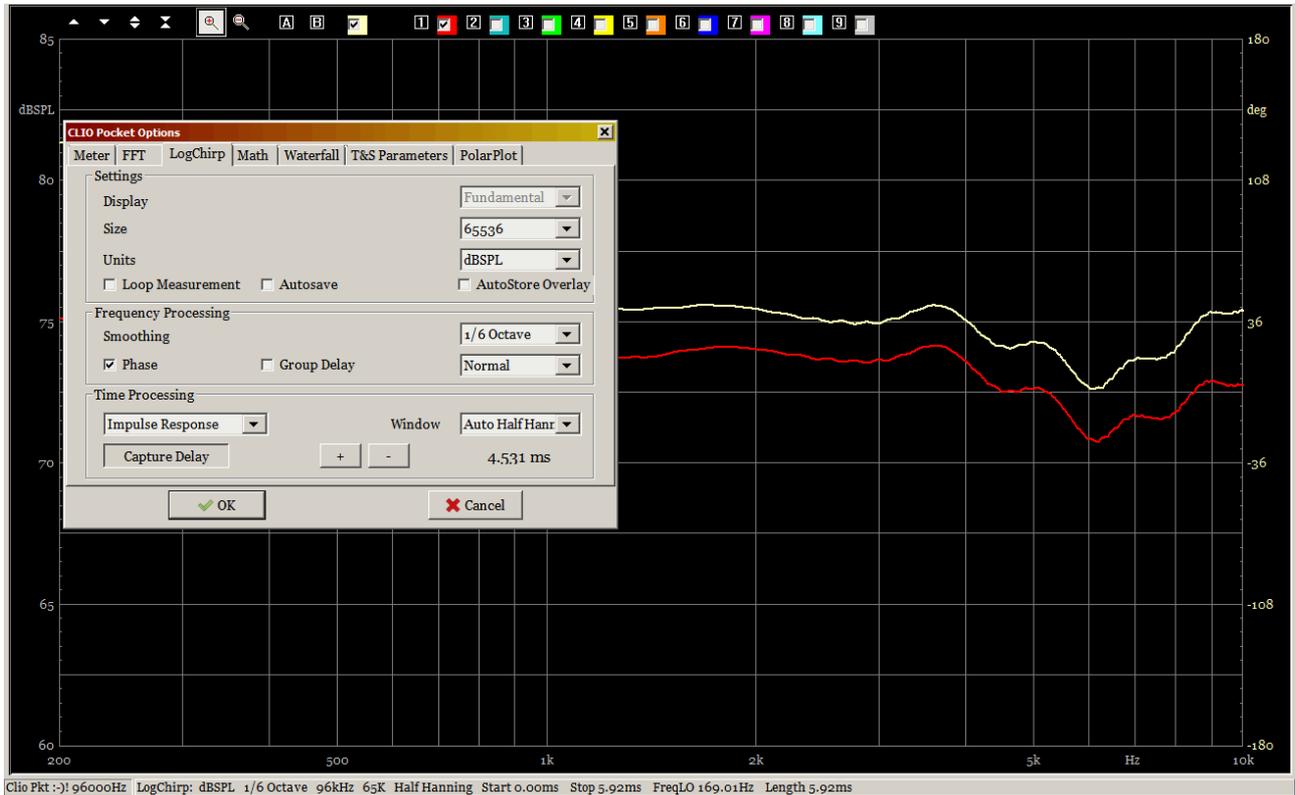
La distance D du point milieu sur le baffle à la capsule du micro a été portée à 1204 mm (3,5 fois 344 mm). L'installation ne permettait pas une distance supérieure.

Les noms des fichiers sont explicites, ils sont détaillés en annexe,

Peu de commentaires cette fois-ci. Le lecteur est invité à déterminer le retard qui lui paraît donner la meilleure réponse "step" puis la meilleure réponse en fréquence

Mesures spécifiques au tweeter Illum**1204-137 mm**

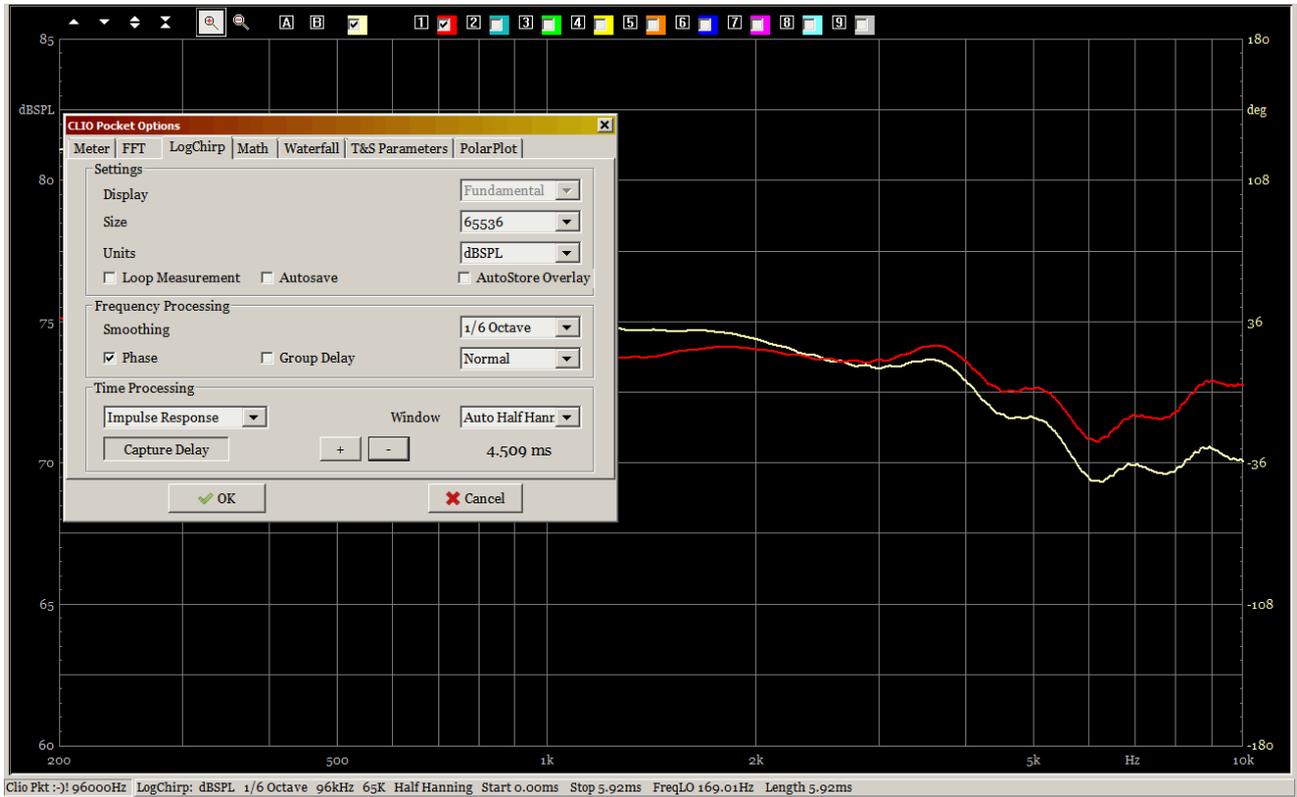
→



OA 025 Illum 1204-137 mm **4.531 ms** capd.png

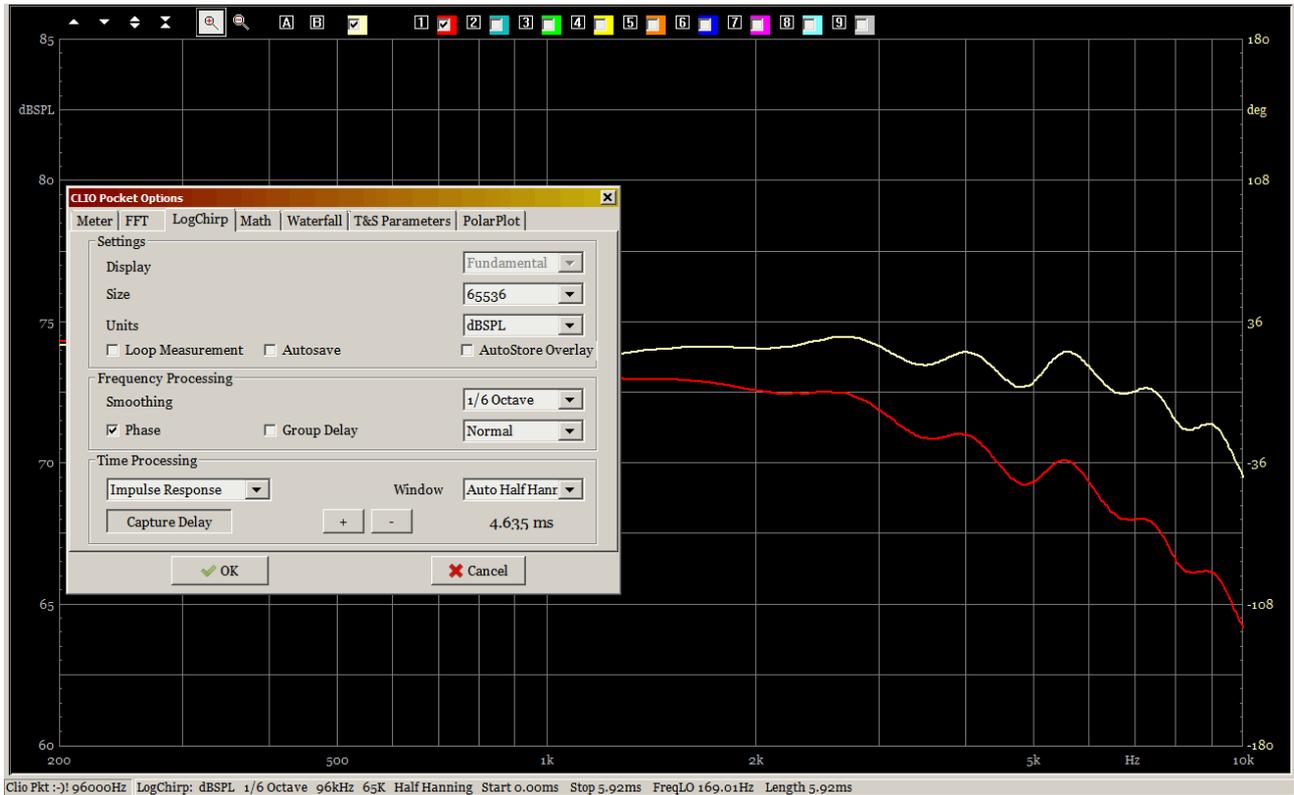
Opération de "capture delay" sur le tweeter.

La valeur indiquée correspond à la position temporelle du pic de la réponse impulsionnelle du tweeter, ici 4,531 ms, comme on le verra plus loin, image H.



OB 025 Illum 1204-137 mm **4.509 ms** phit.png

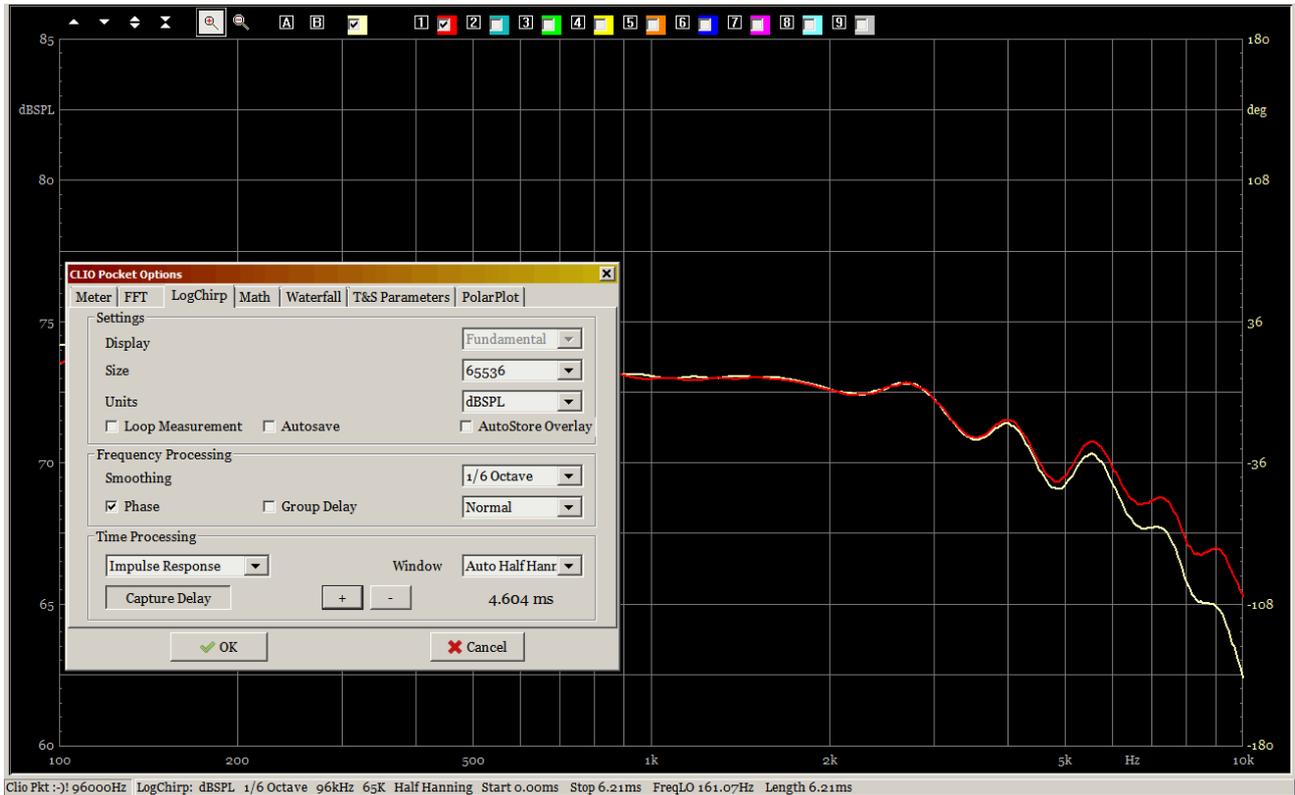
Estimation du retard du haut-parleur par la méthode de la phase minimale (retard appelé ici "phit").



OC 170 Revel 1204-137 mm 4.635 ms capd.png

Opération de "capture delay" sur le medium.

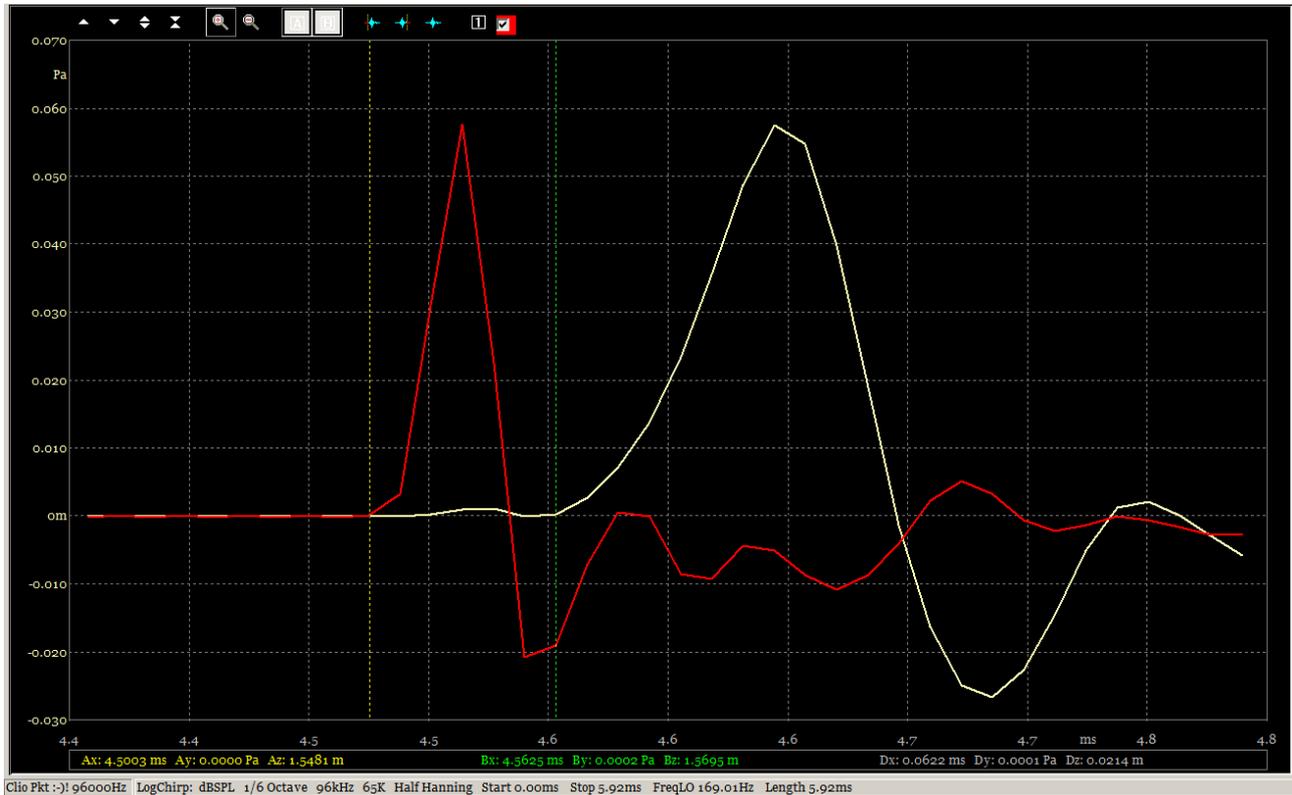
La valeur indiquée correspond à la position temporelle du pic de la réponse impulsionnelle du tweeter, ici 4,635 ms, comme on le verra plus loin, image H.



OD 170 Revel 1204-137 mm **4.604** ms phit.png

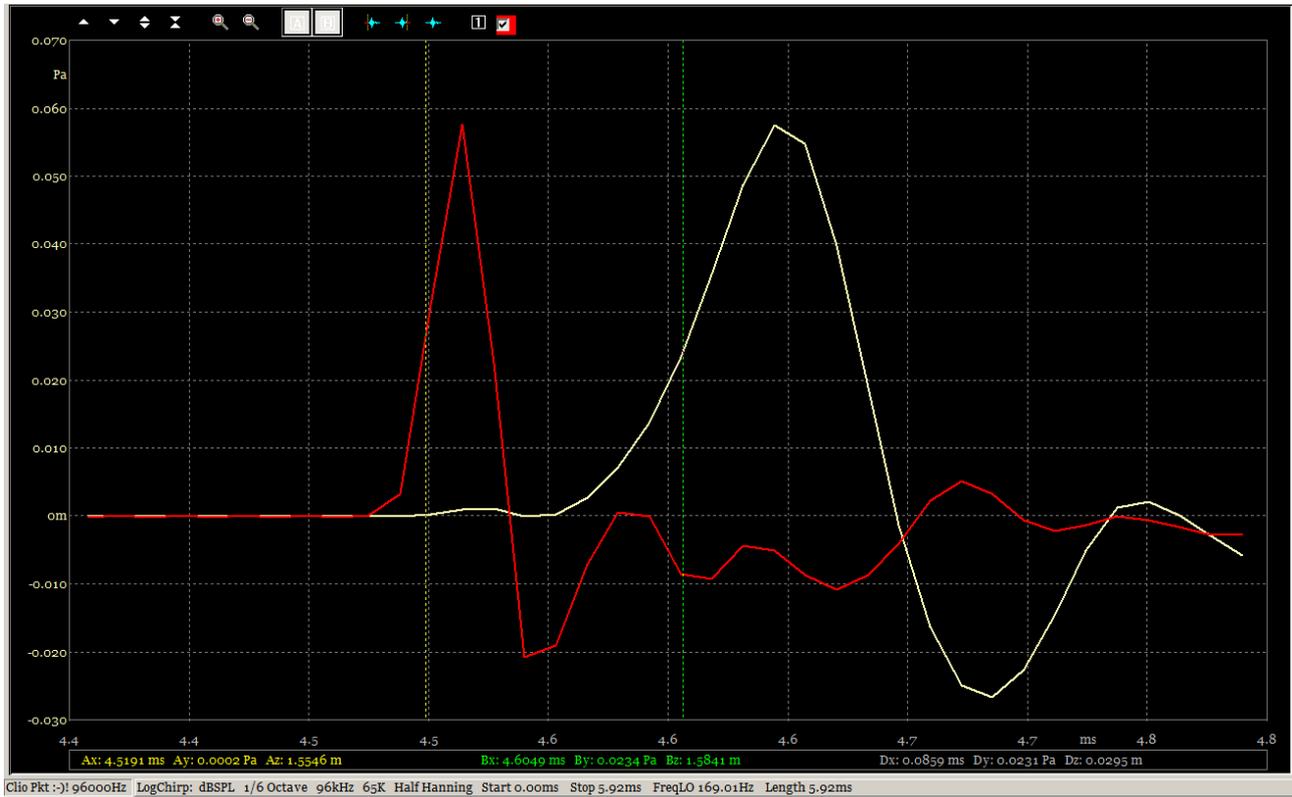
Retard du medium estimé par la méthode de la phase minimale.

Ce haut-parleur a, comme le Discov, un comportement proche d'un système à phase minimale.

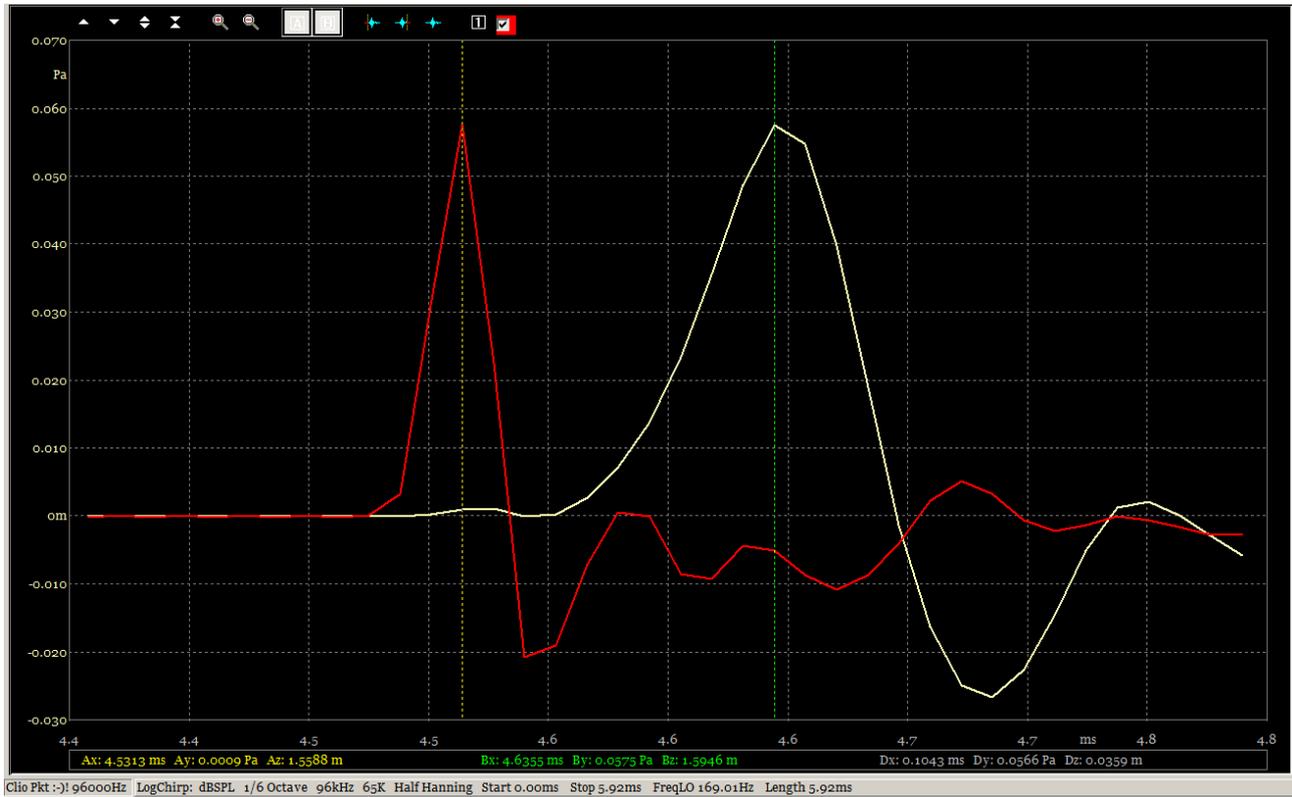


OE 1204-137 mm diff foot 063 us Illum 4.500 Revel 4.563 ms puls.png

Vue du micro, la différence des débuts d'émission entre les haut-parleurs, 63 μ s, soit 21 mm environ.



Différence entre les deux valeurs estimées par la méthode de la phase minimale,
86 μ s soit 30 mm environ.



Différence entre les deux pics des réponses impulsionnelles,
104 μ s soit 36 mm environ.

**Etude de la réponse "step" de la combinaison des haut-parleurs
Illum et Revel
en fonction du retard introduit dans la voie du tweeter**

Presentation des réponses "step" de l'ensemble étudié avec un filtrage à 6 dB par octave (le seul capable de respecter de façon relativement correcte les formes d'onde) à des fréquences de croisement 2.0, 2.64 et 3.48 kHz.

Les retards introduits dans la voie du tweeter sont de 0, 42, 52, 62, 73, 83, 94, 104, 115 μ s.

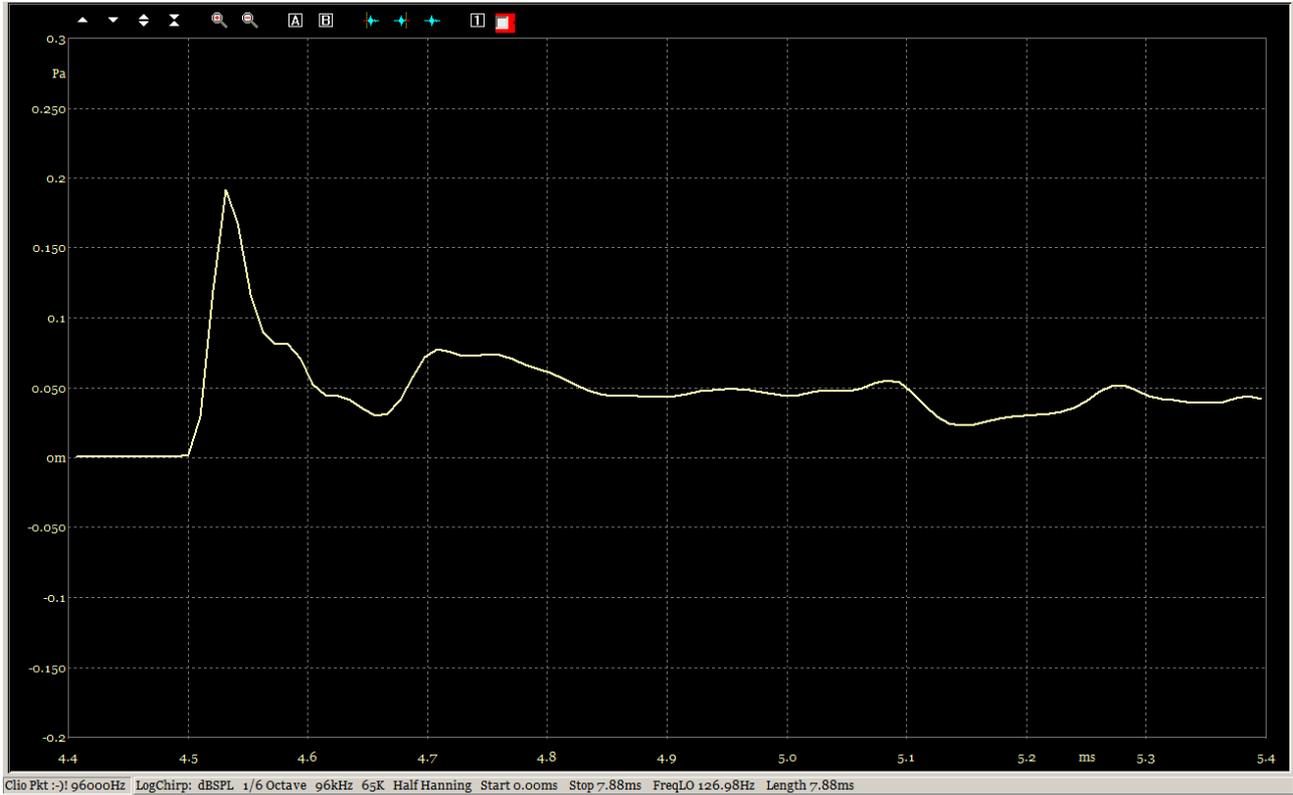
Réponses "step" pour un filtrage à 6 dB/o à 2.00 kHz

Retards du tweeter 0, 42, 52, 62, 73, 83, 94, 104, 115 μ s

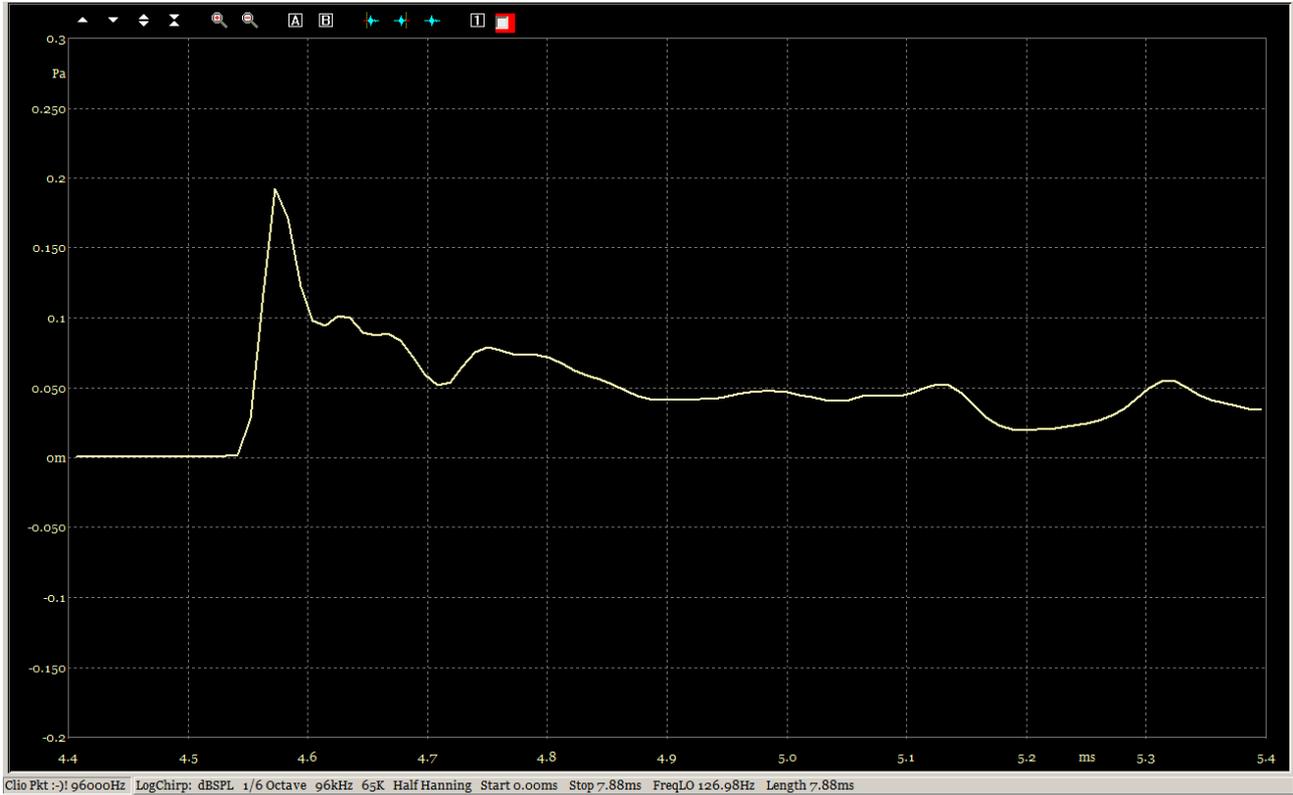
Ecart entre les haut-parleurs : 274 mm

Distance de mesure : 1204 mm

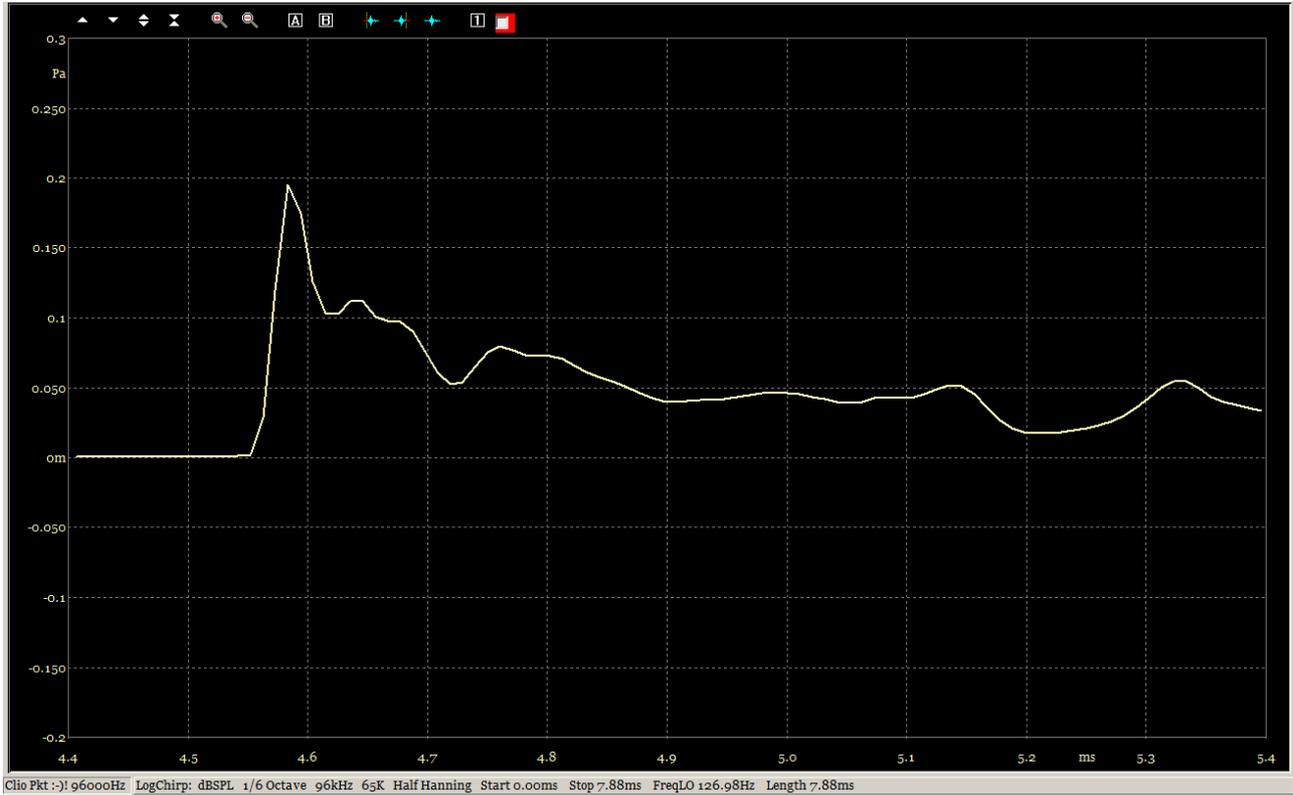
→



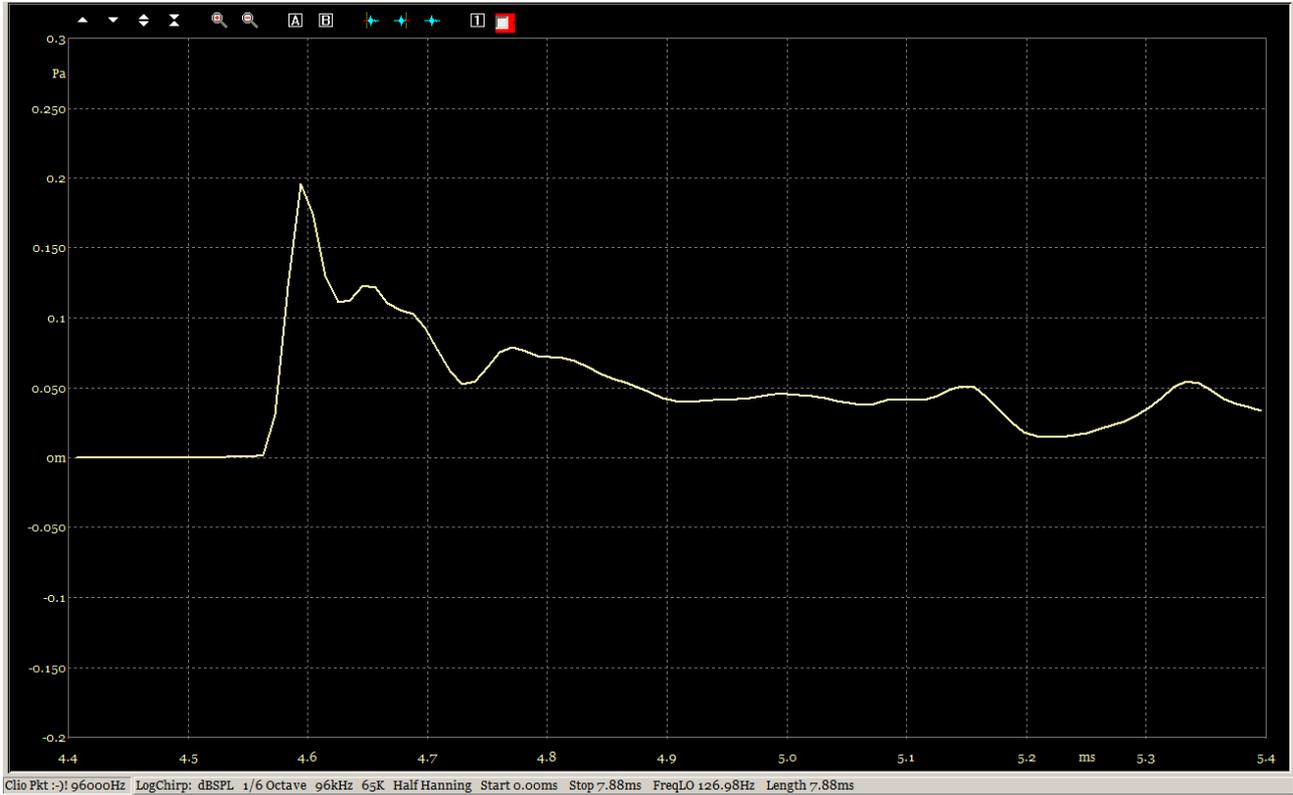
PA 1204-137 mm step 2k00 06but Illum 000 us Revel.png



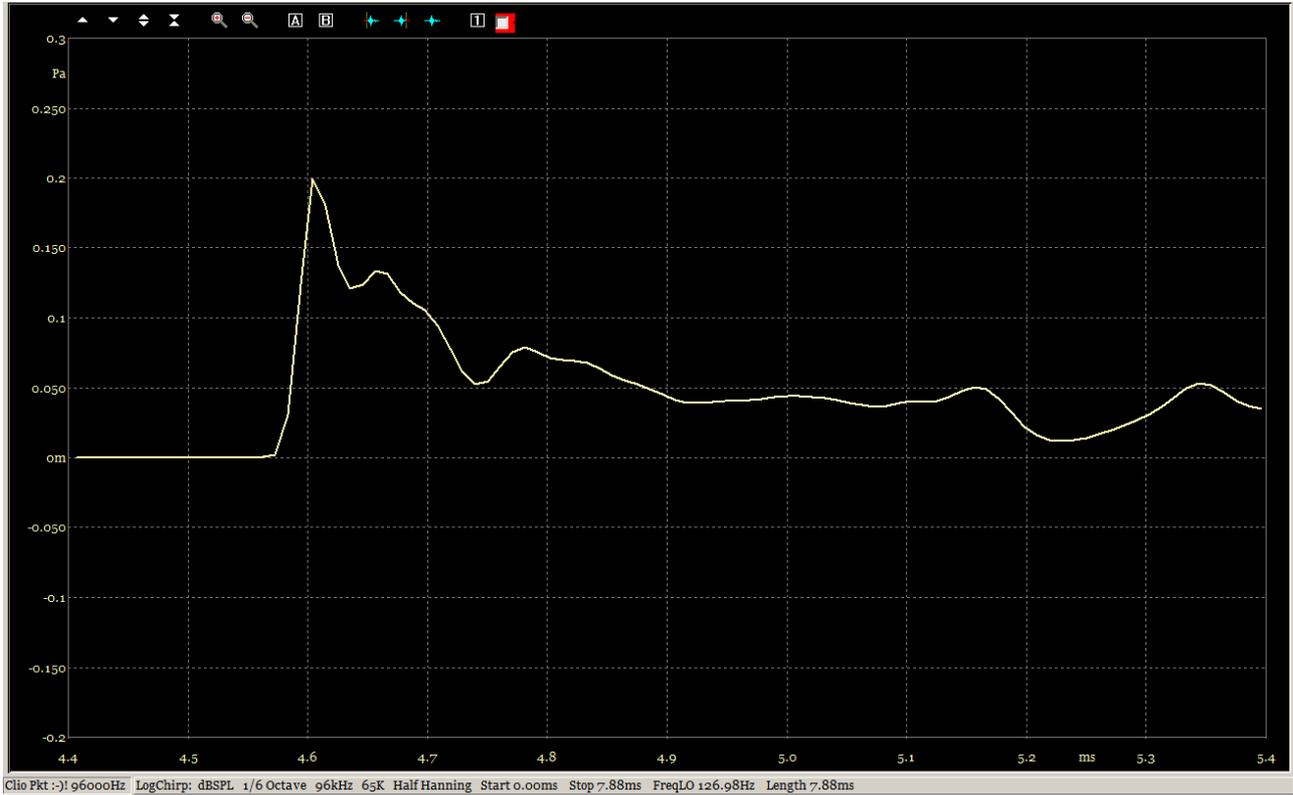
PB 1204-137 mm step 2k00 06but Illum 042 us Revel.png



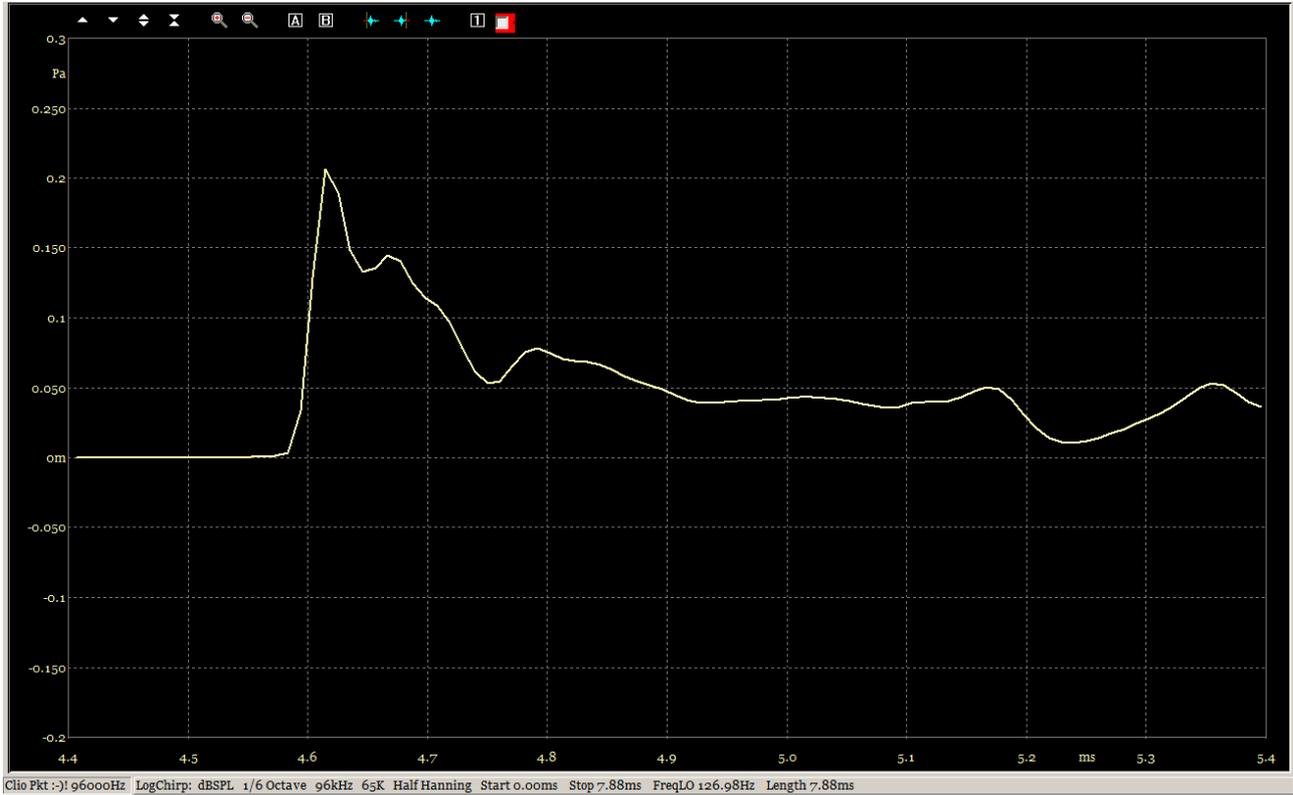
PC 1204-137 mm step 2k00 06but Illum 052 us Revel.png



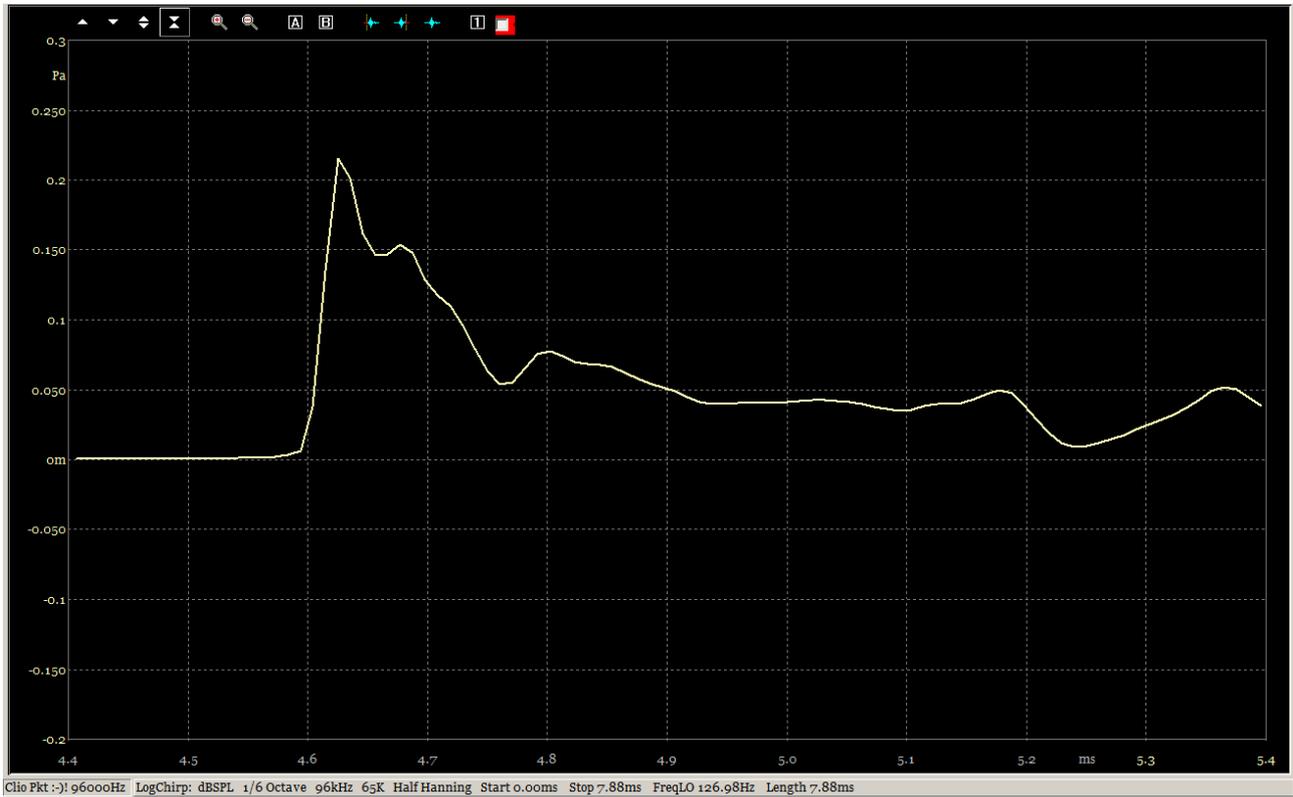
PD 1204-137 mm step 2k00 06but Illum 062 us Revel.png



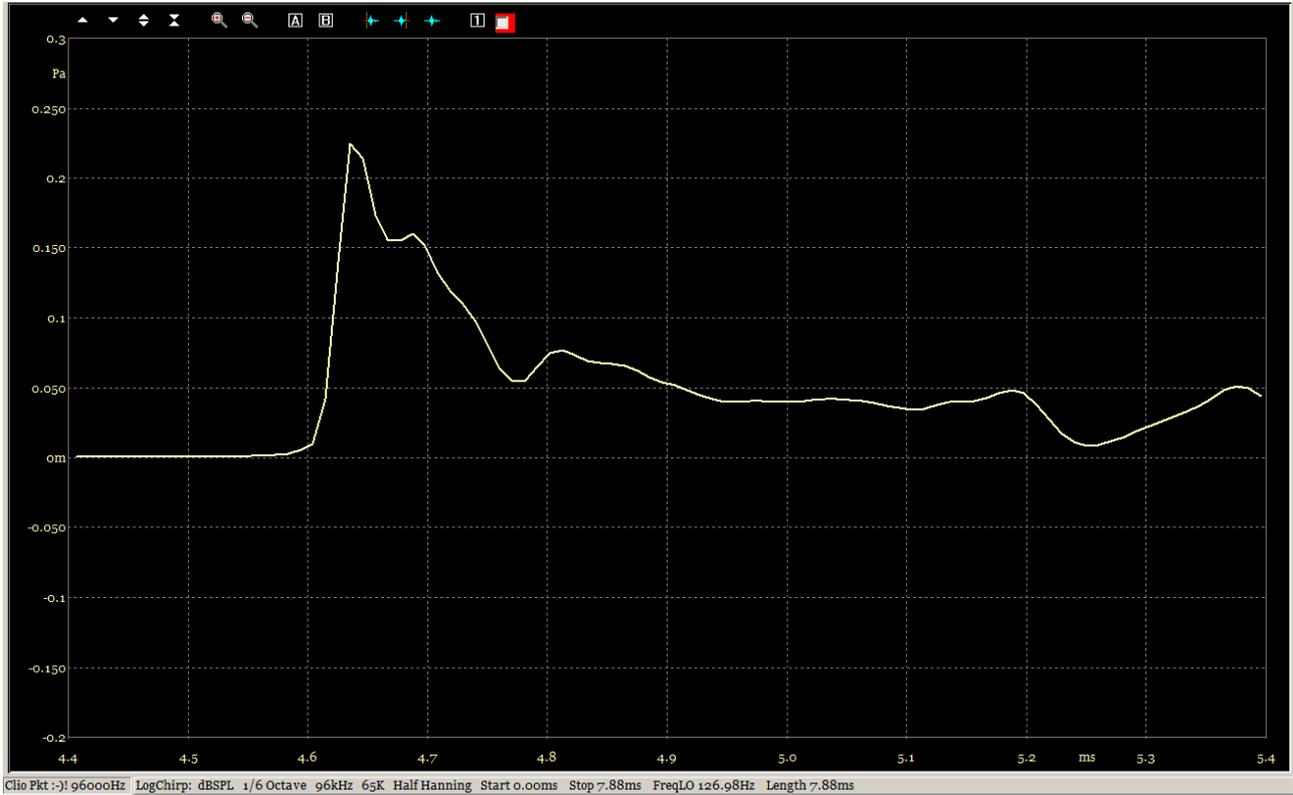
PE 1204-137 mm step 2k00 06but Illum 073 us Revel.png



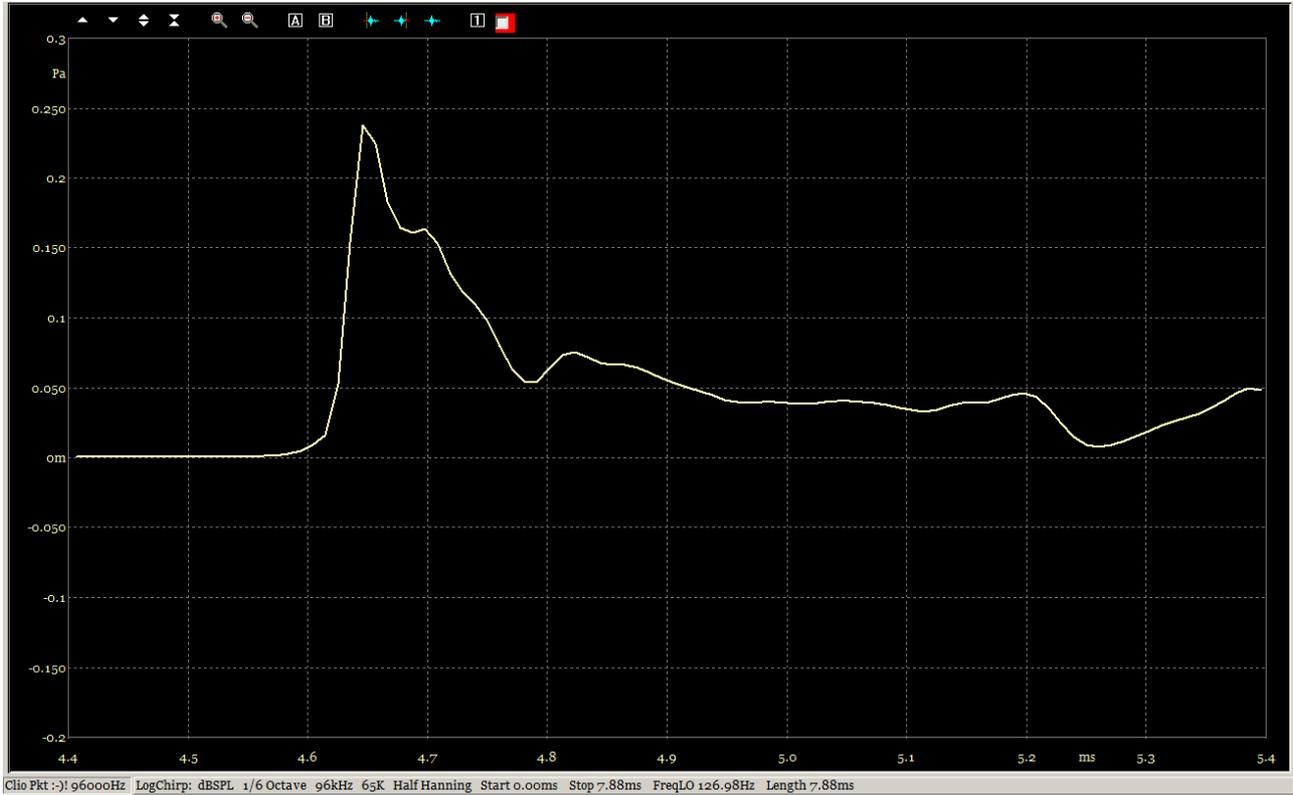
PF 1204-137 mm step 2k00 06but Illum 083 us Revel.png



PG 1204-137 mm step 2k00 06but Illum 094 us Revel.png



PH 1204-137 mm step 2k00 06but Illum 104 us Revel.png



PI 1204-137 mm step 2k00 06but Illum 115 us Revel.png

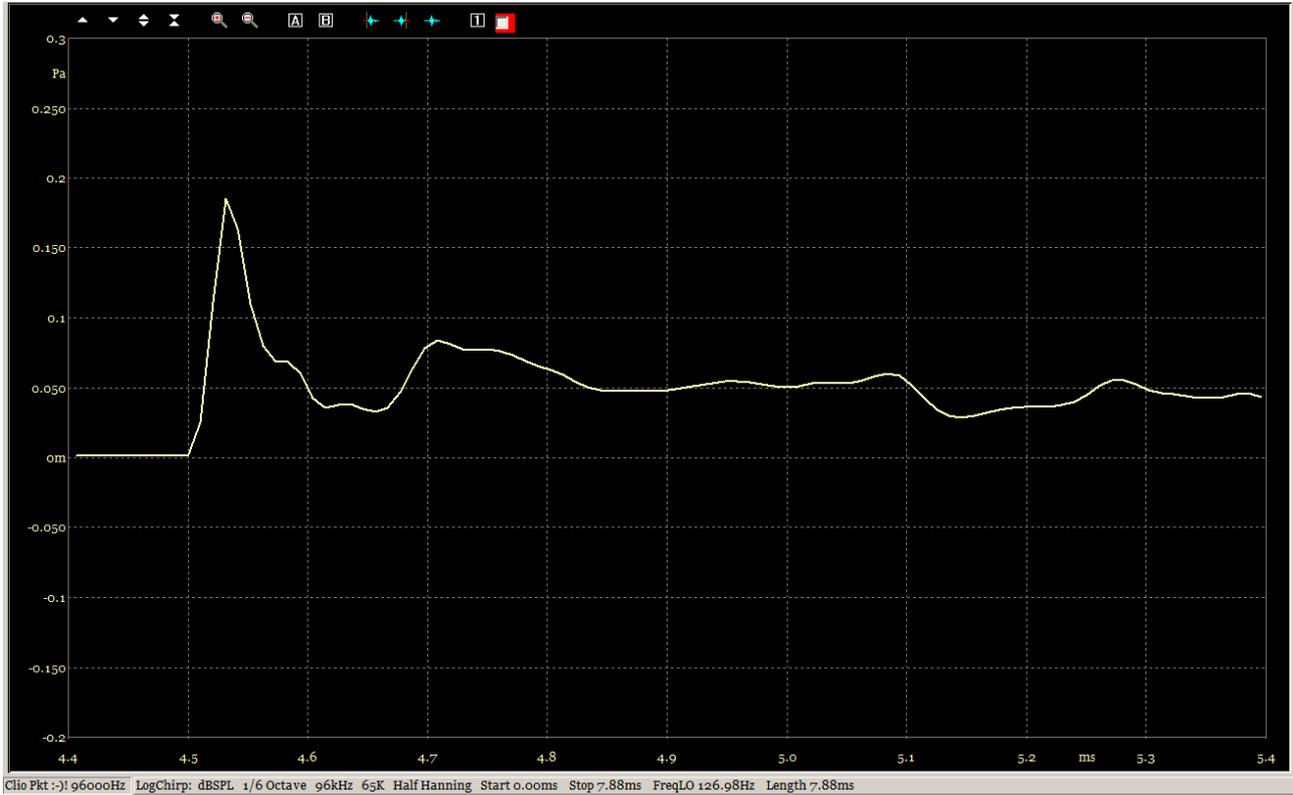
Réponses "step" pour un filtrage à 6 dB/o à 2.64 kHz

Retards du tweeter 0, 42, 52, 62, 73, 83, 94, 104, 115 μ s

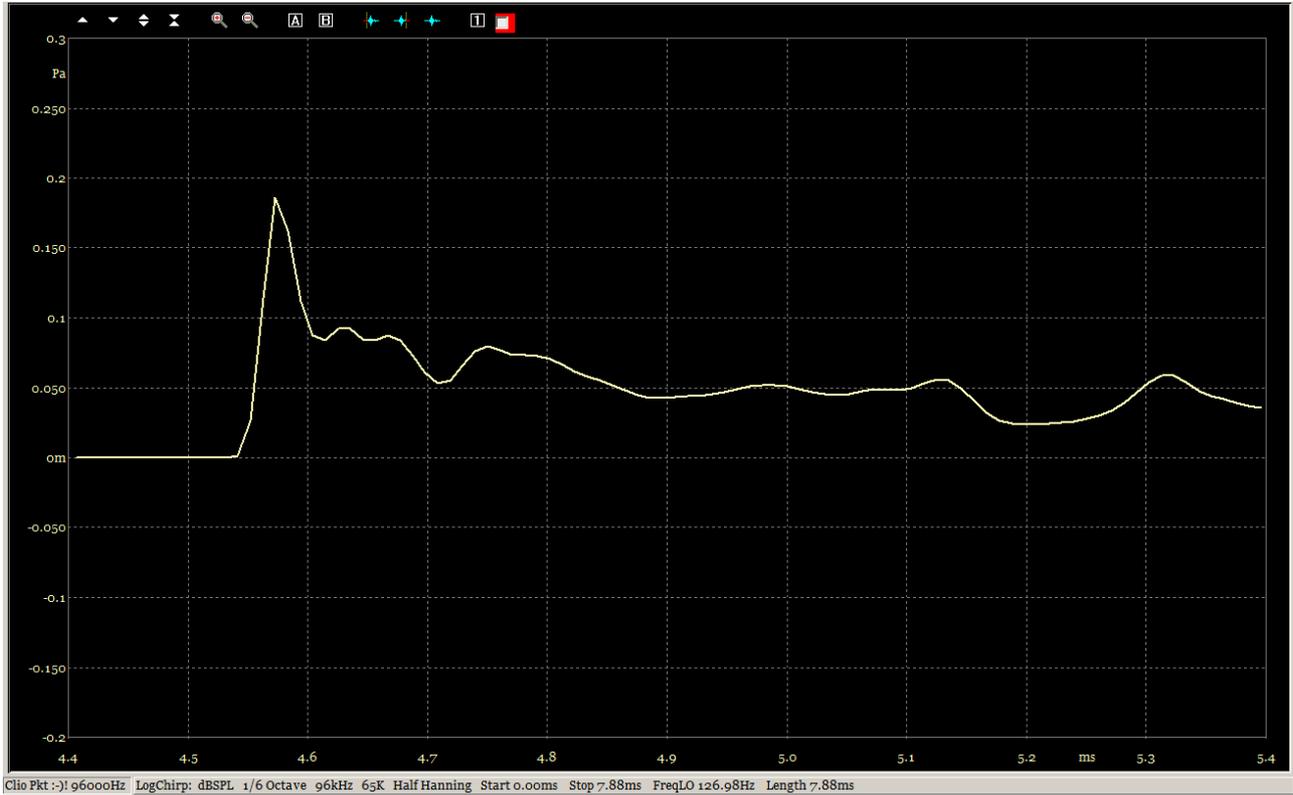
Ecart entre les haut-parleurs : 274 mm

Distance de mesure : 1204 mm

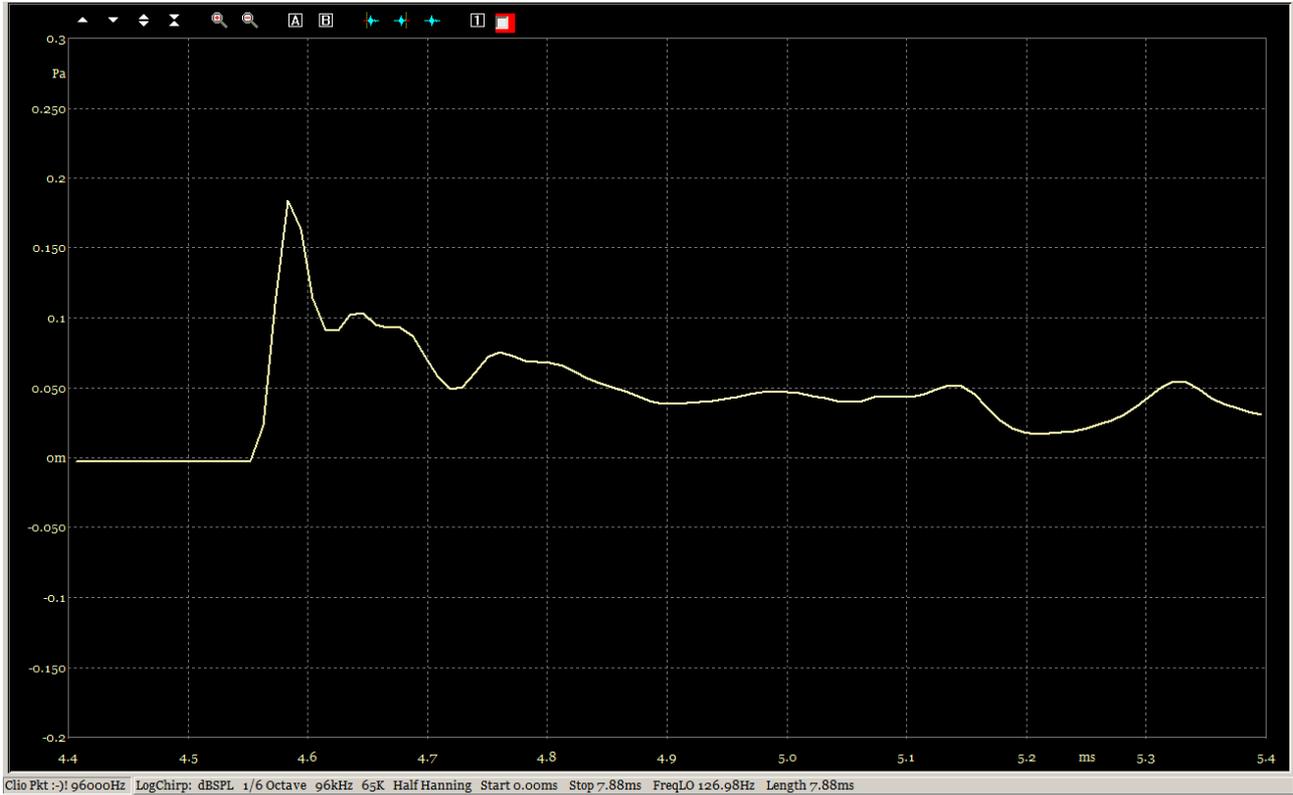
→



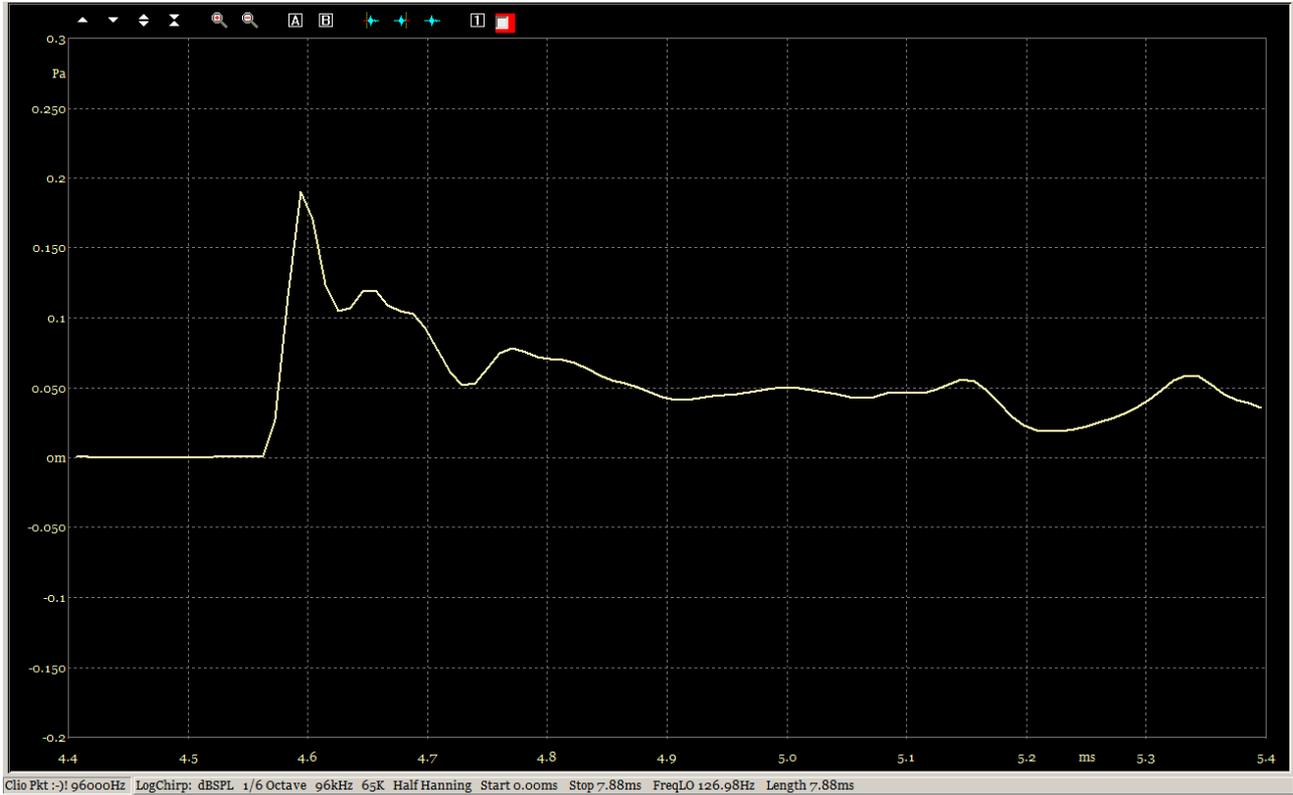
QA 1204-137 mm step 2k64 06but Illum 000 us Revel.png



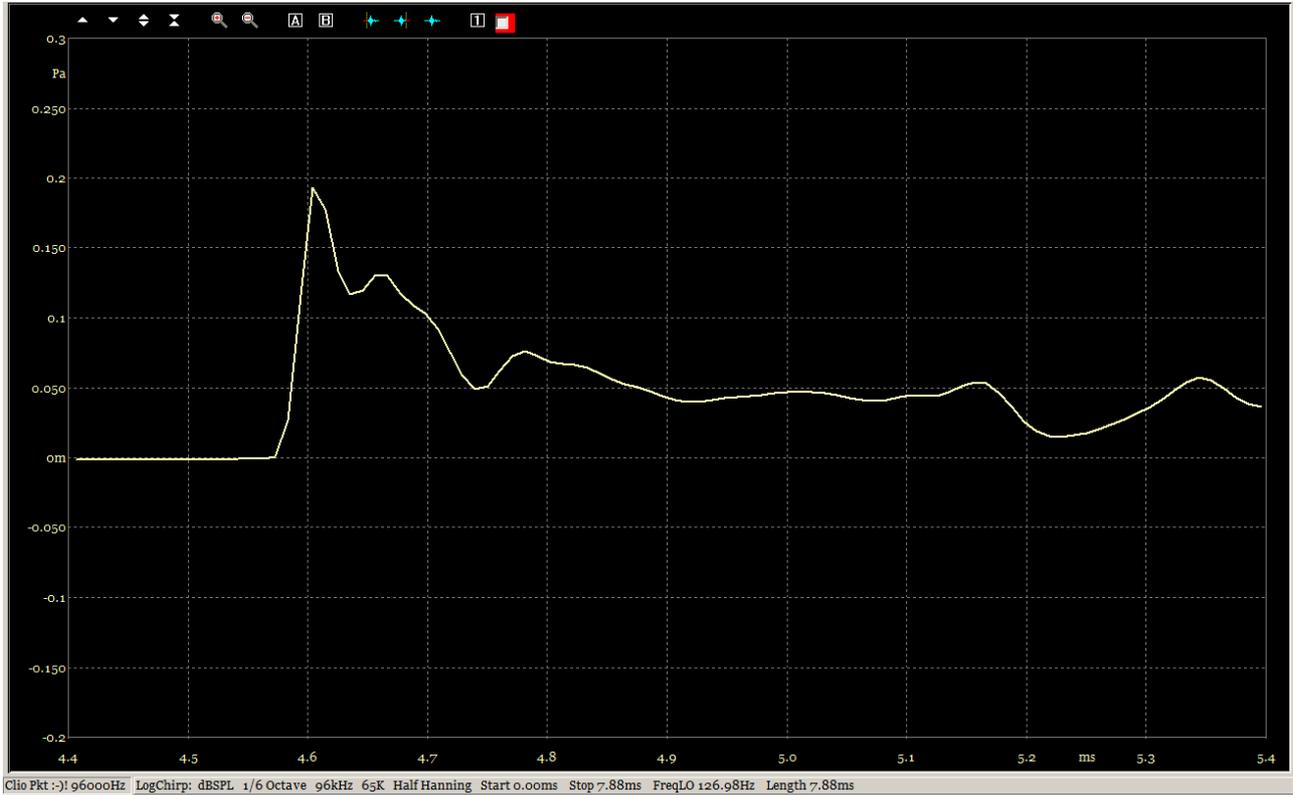
QB 1204-137 mm step 2k64 06but Illum 042 us Revel.png



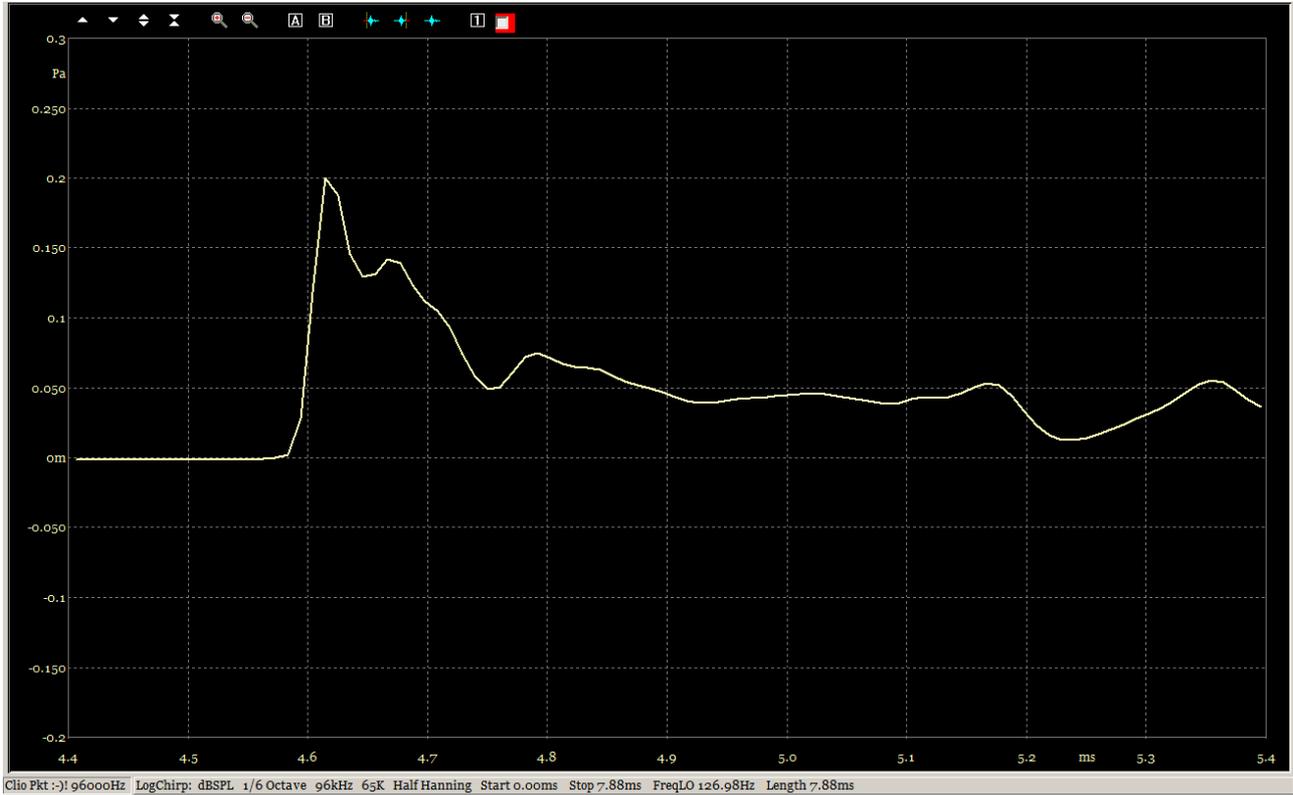
QC 1204-137 mm step 2k64 06but Illum 052 us Revel.png



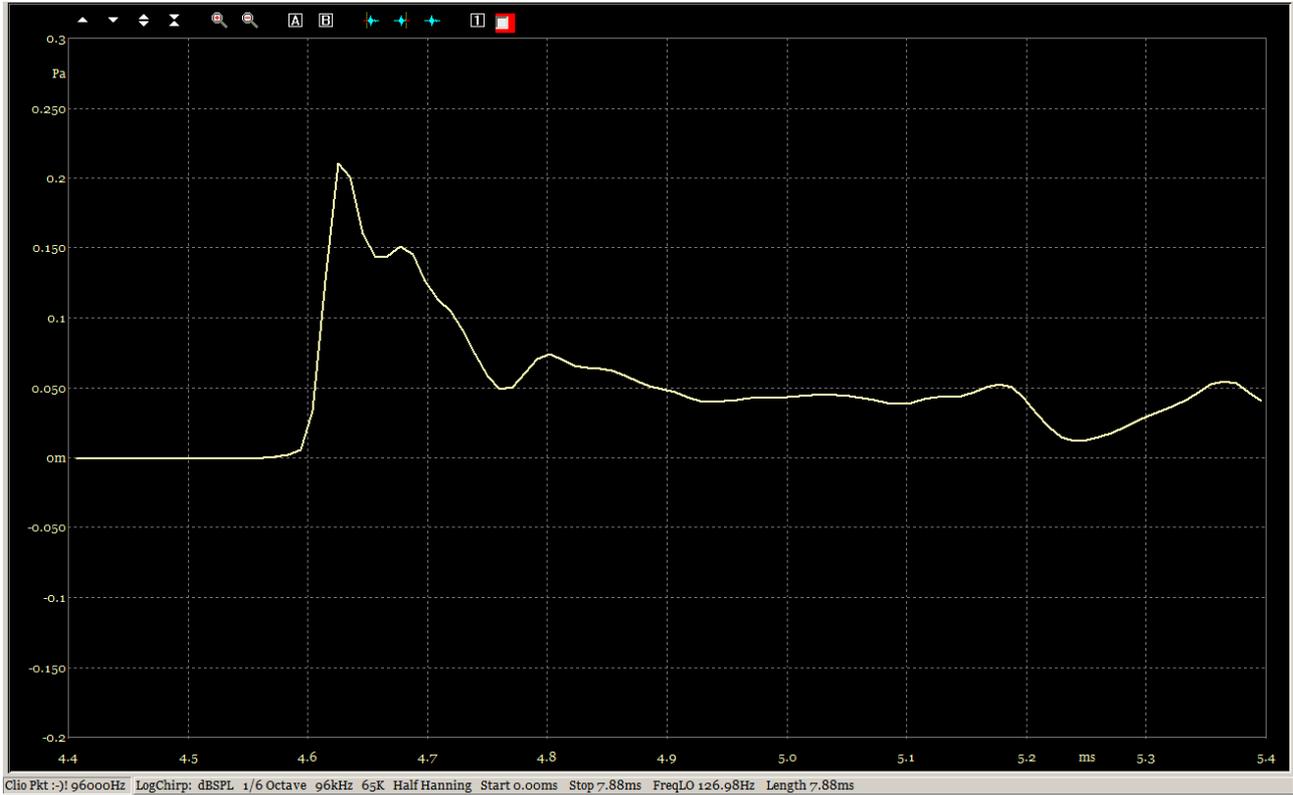
QD 1204-137 mm step 2k64 06but Illum 062 us Revel.png



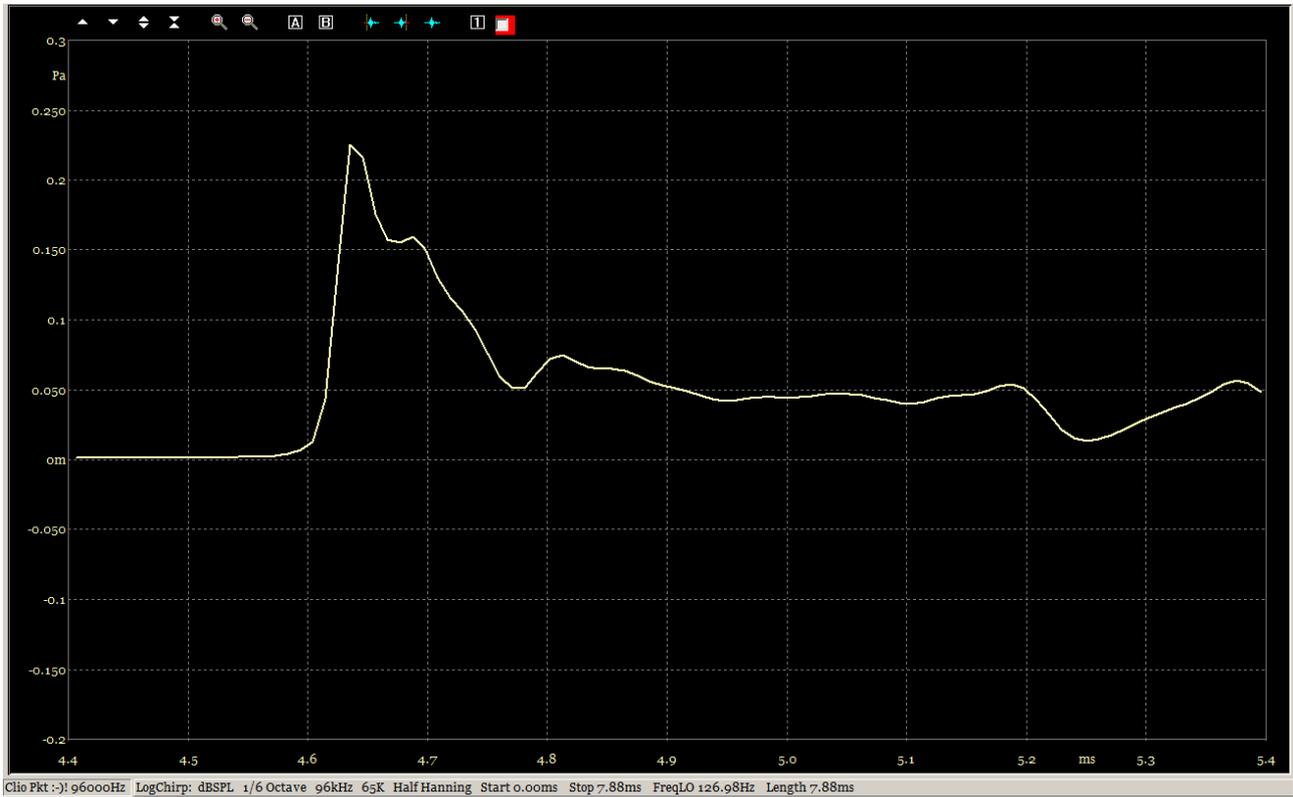
QE 1204-137 mm step 2k64 06but Illum 073 us Revel.png



QF 1204-137 mm step 2k64 06but Illum 083 us Revel.png

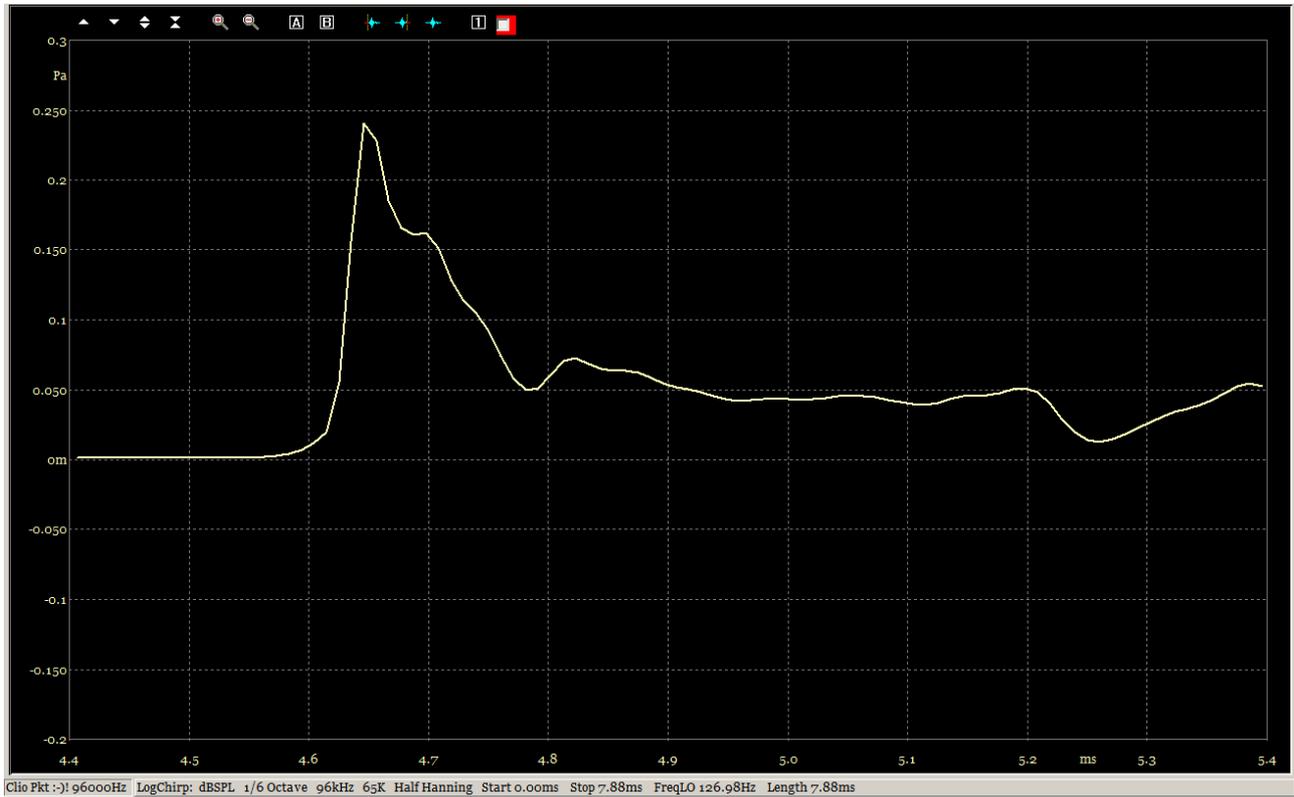


QG 1204-137 mm step 2k64 06but Illum 094 us Revel.png



QH 1204-137 mm step 2k64 06but Illum 104 us Revel.png

L'arrondi au pied de la réponse montre une légère avance du médium.



QI 1204-137 mm step 2k64 06but Illum 115 us Revel.png

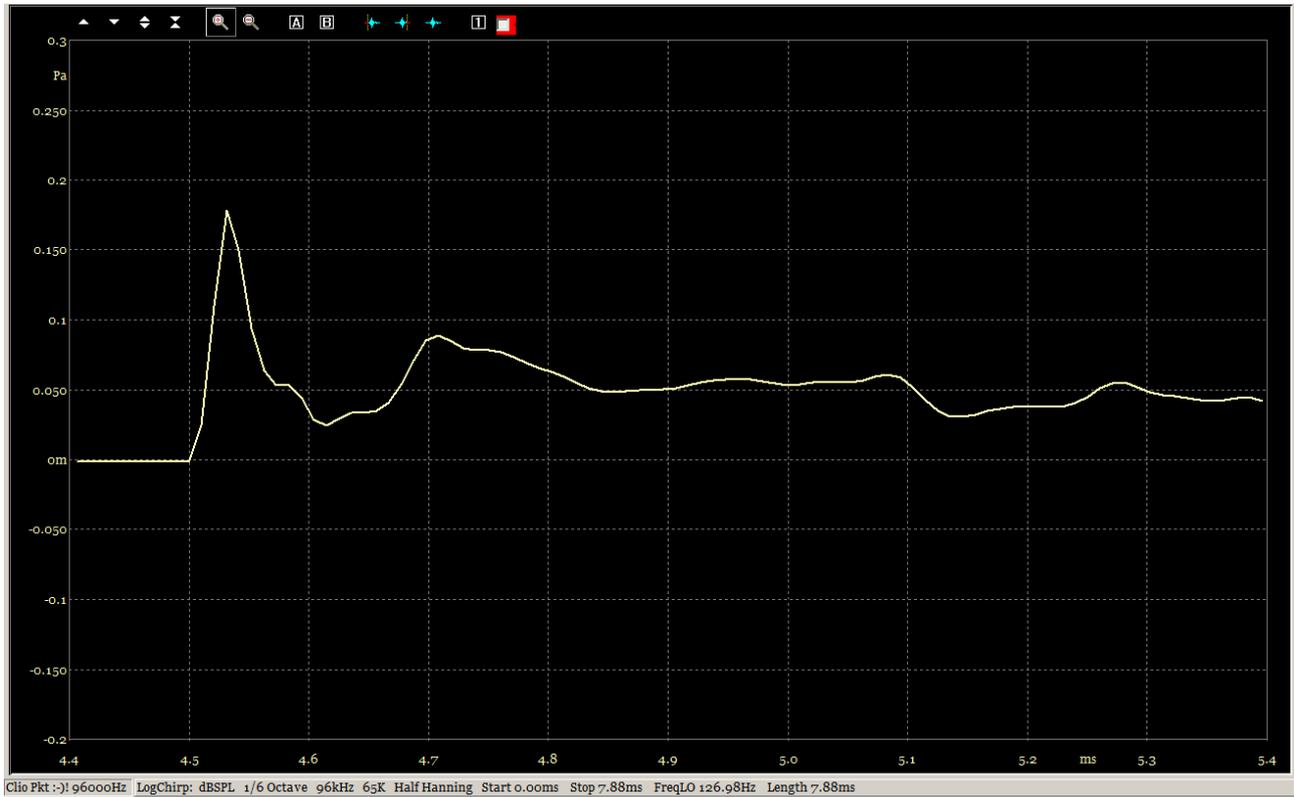
Réponses "step" pour un filtrage à 6 dB/o à 3.48 kHz

Retards du tweeter 0, 42, 52, 62, 73, 83, 94, 104, 115 μ s

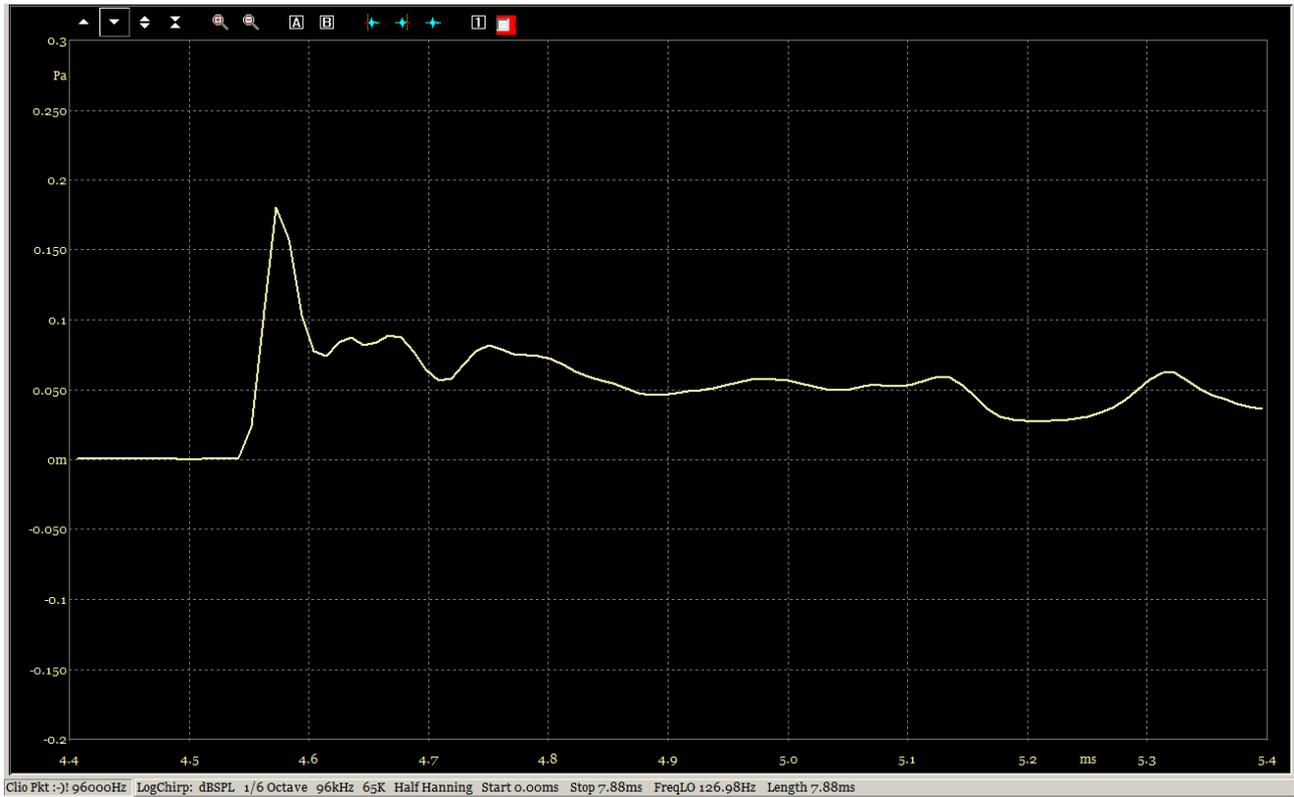
Ecart entre les haut-parleurs : 274 mm

Distance de mesure : 1204 mm

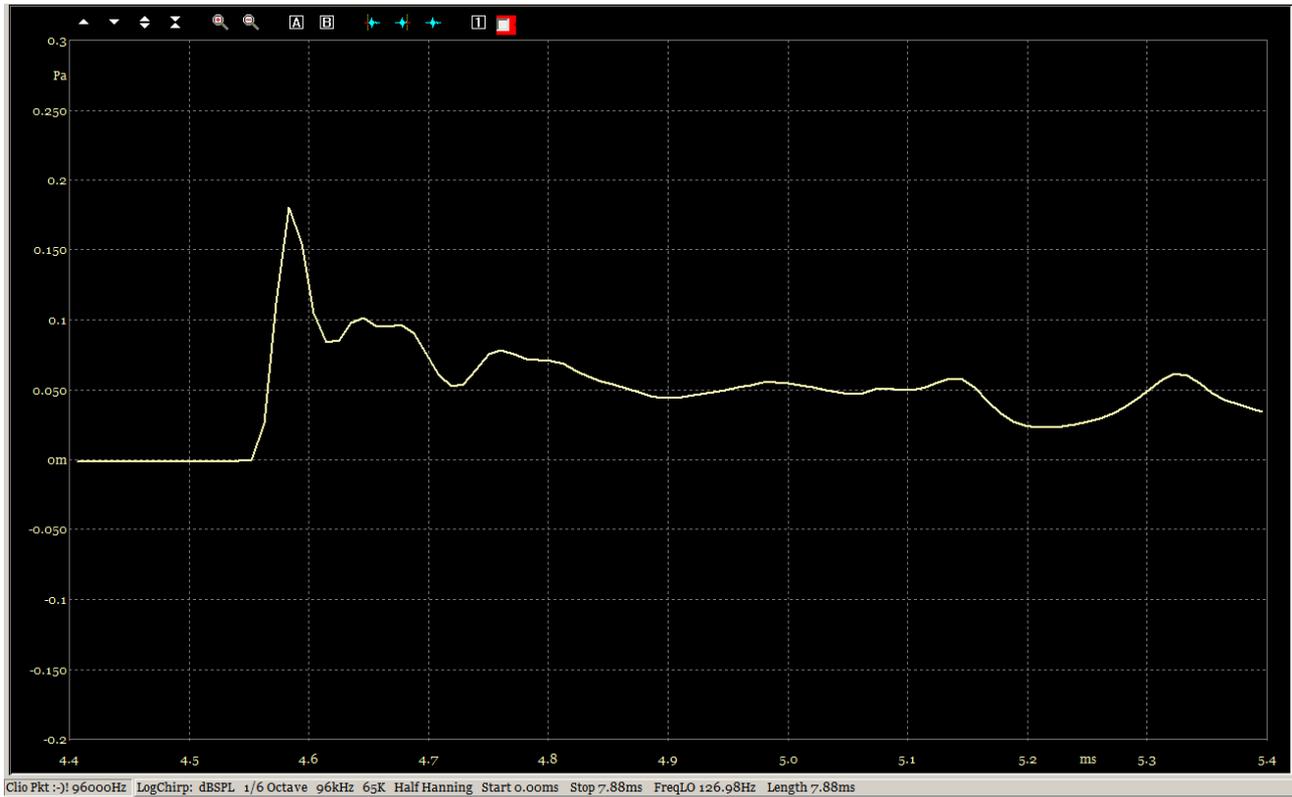
→



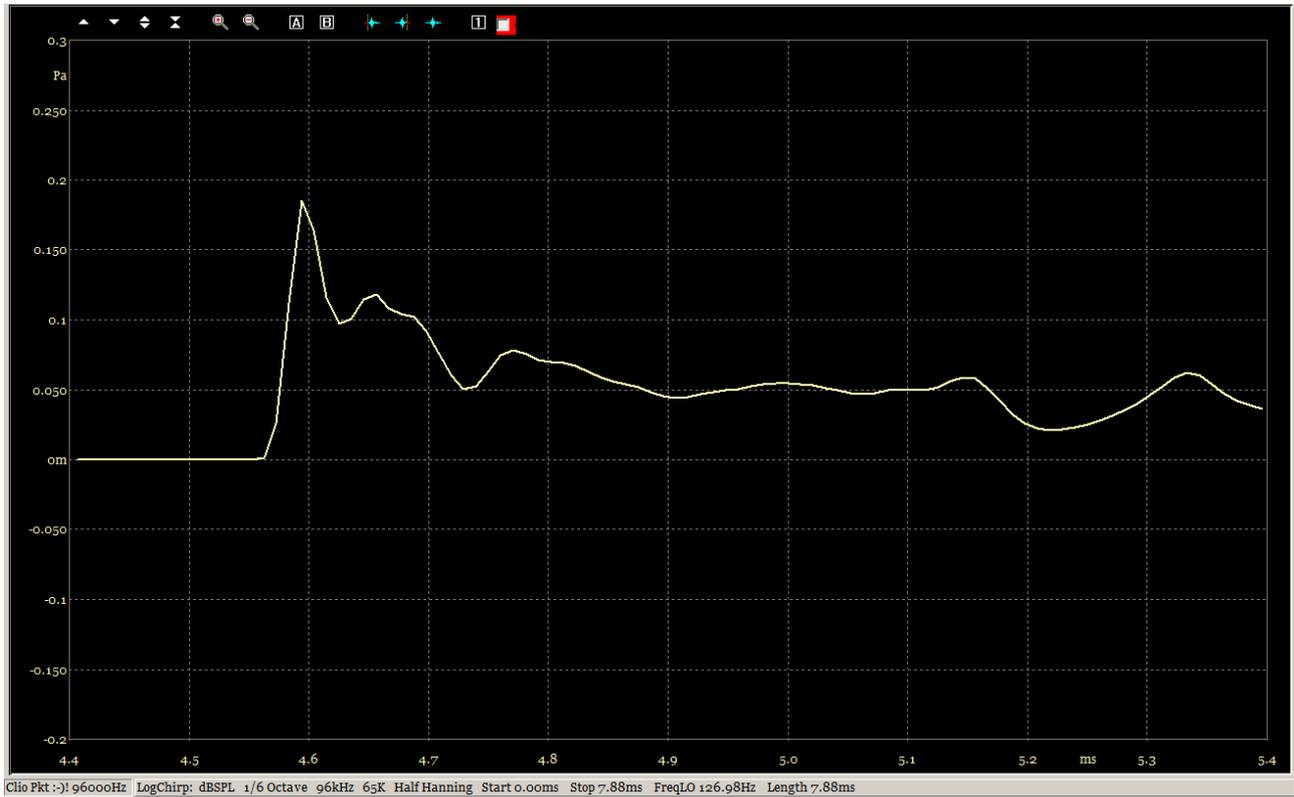
RA 1204-137 mm step 3k48 06but Illum 000 us Revel.png



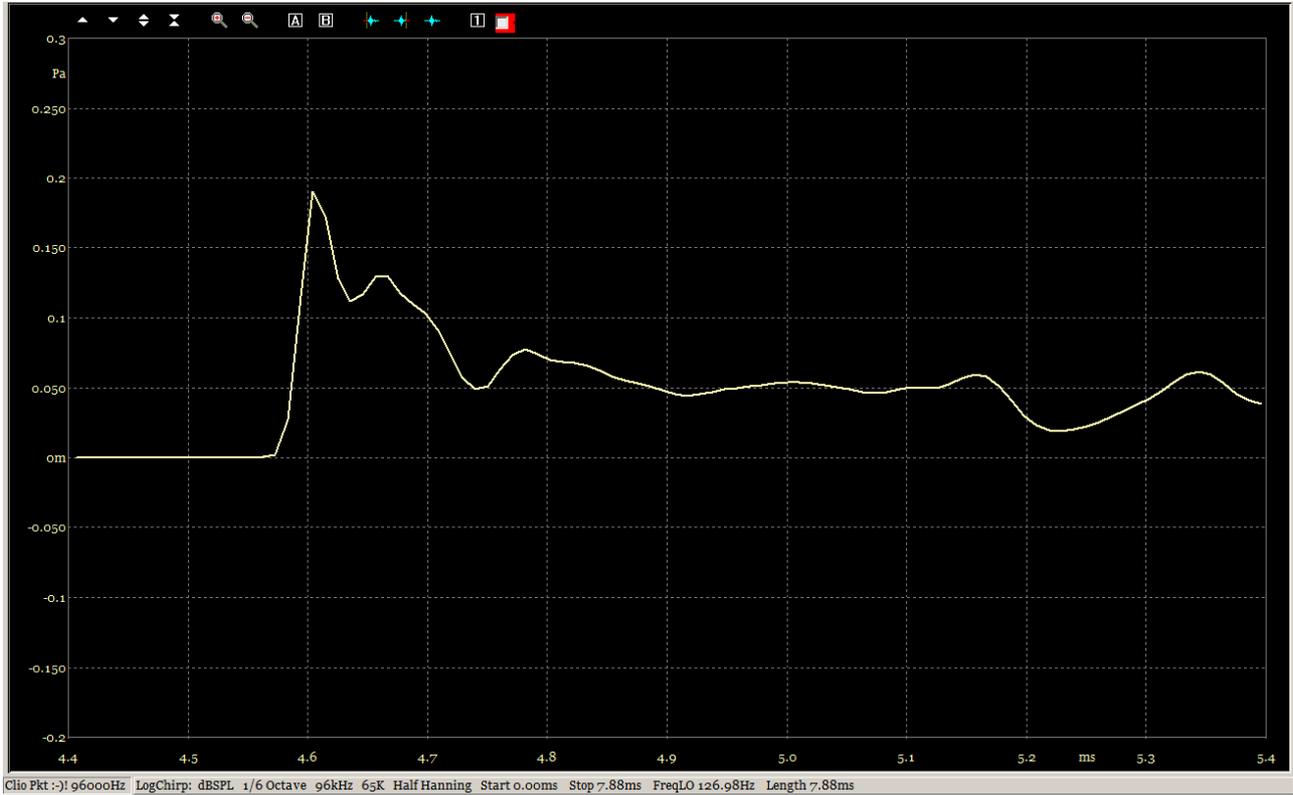
RB 1204-137 mm step 3k48 06but Illum 042 us Revel.png



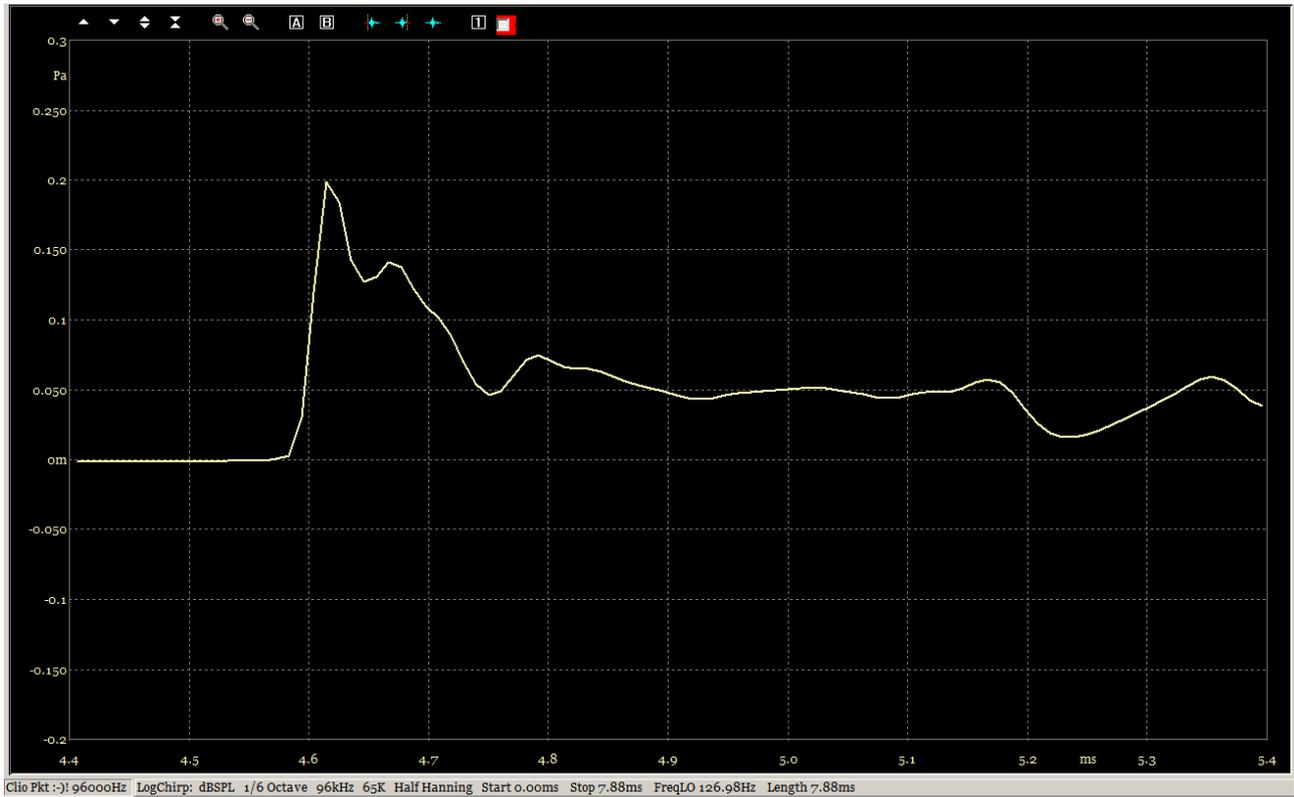
RC 1204-137 mm step 3k48 06but Illum 052 us Revel.png



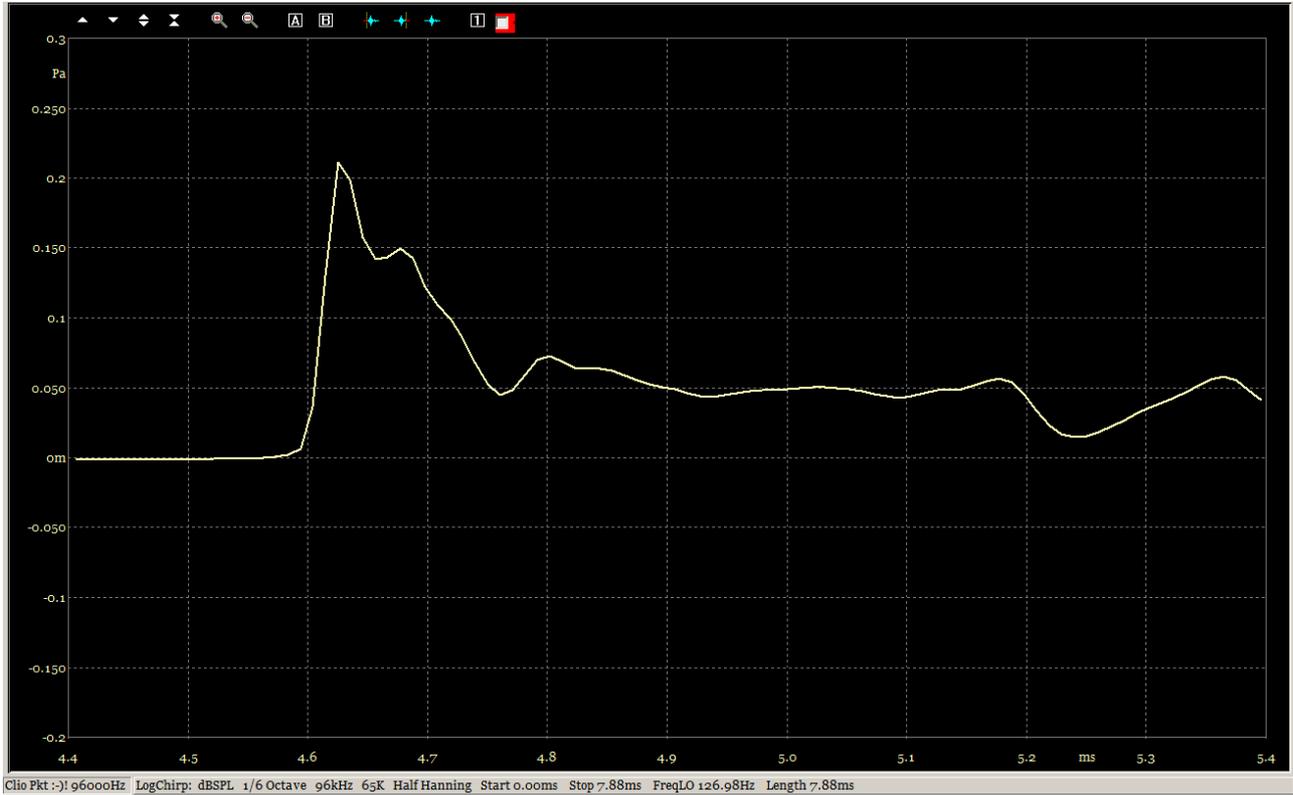
RD 1204-137 mm step 3k48 06but Illum 062 us Revel.png



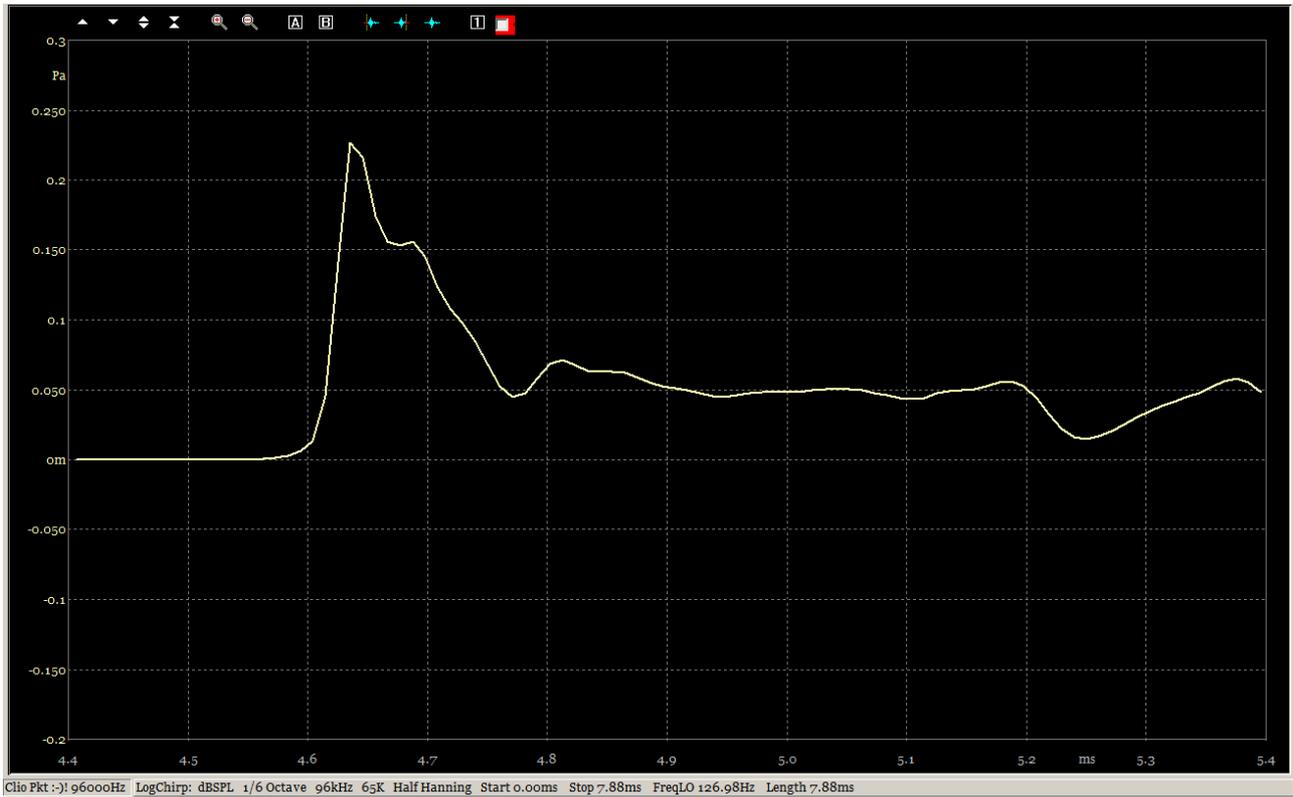
RE 1204-137 mm step 3k48 06but Illum 073 us Revel.png



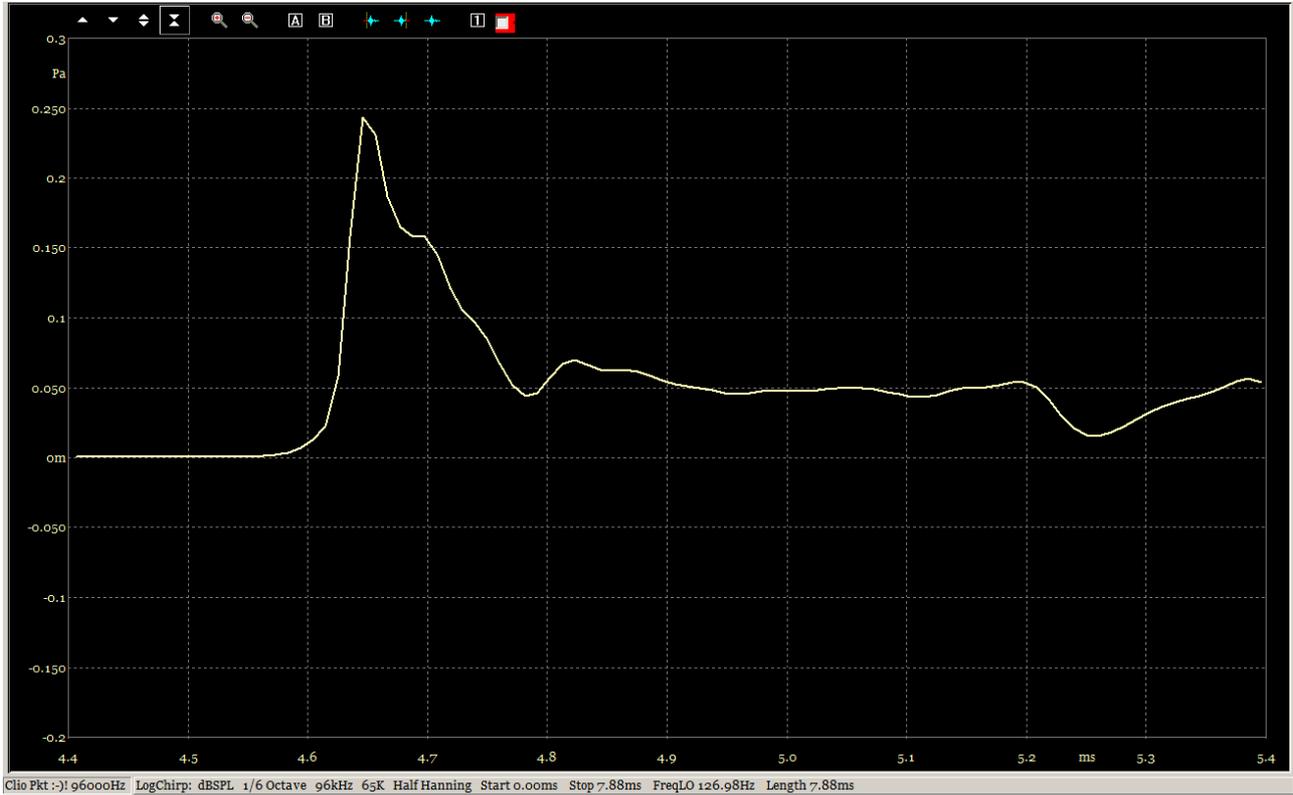
RF 1204-137 mm step 3k48 06but Illum 083 us Revel.png



RG 1204-137 mm step 3k48 06but Illum 094 us Revel.png



RH 1204-137 mm step 3k48 06but Illum 104 us Revel.png



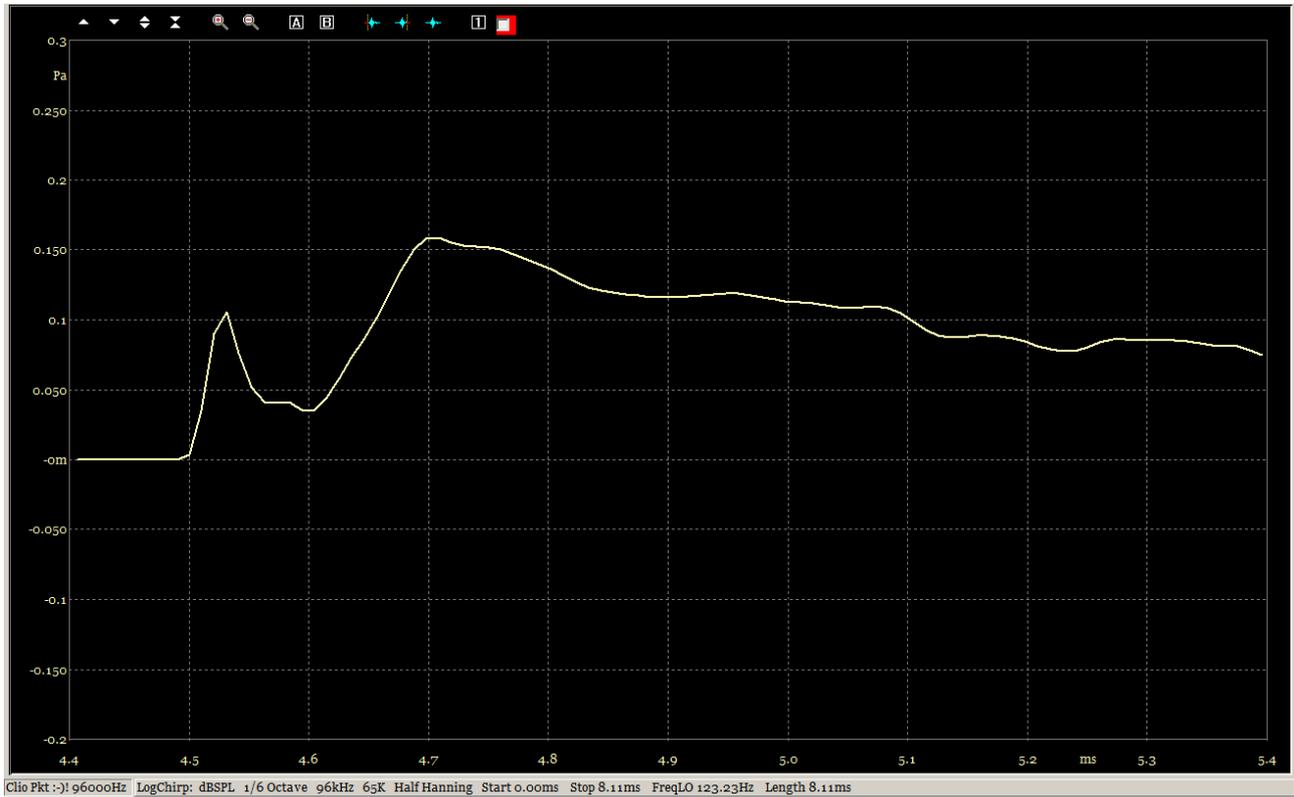
RI 1204-137 mm step 3k48 06but Illum 115 us Revel.png

Alignement et courbes de réponse**Ecart entre les axes des haut-parleurs Illum et Revel : 274 mm****Ecart entre les haut-parleurs : 274 mm****Distance de mesure : 1204 mm**

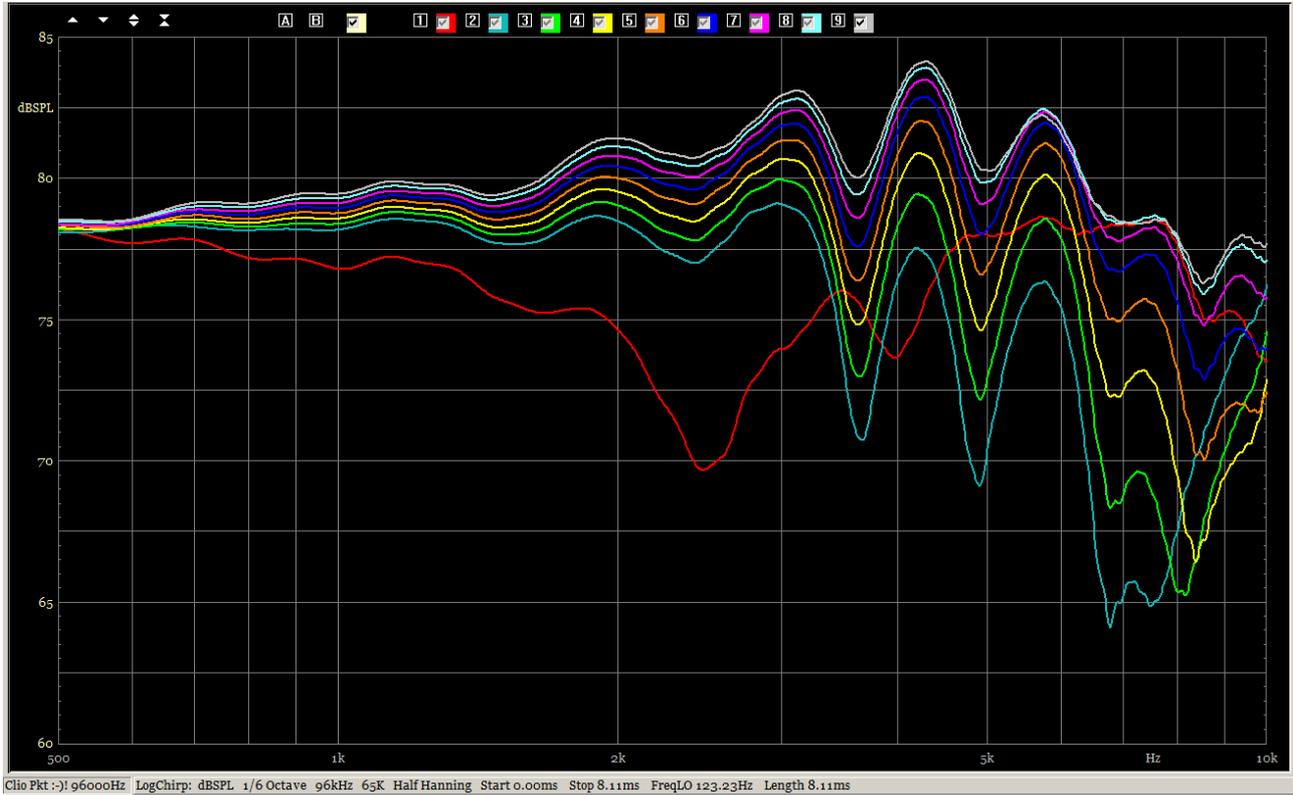
Les réponses en "step" avec un retard nul ici* dans la voie du tweeter servent à vérifier la polarité correcte du branchement des haut-parleurs.

* Le retard était de de 42 μ s dans l'association avec le Discov, ce n'était pas une très bonne idée.

→

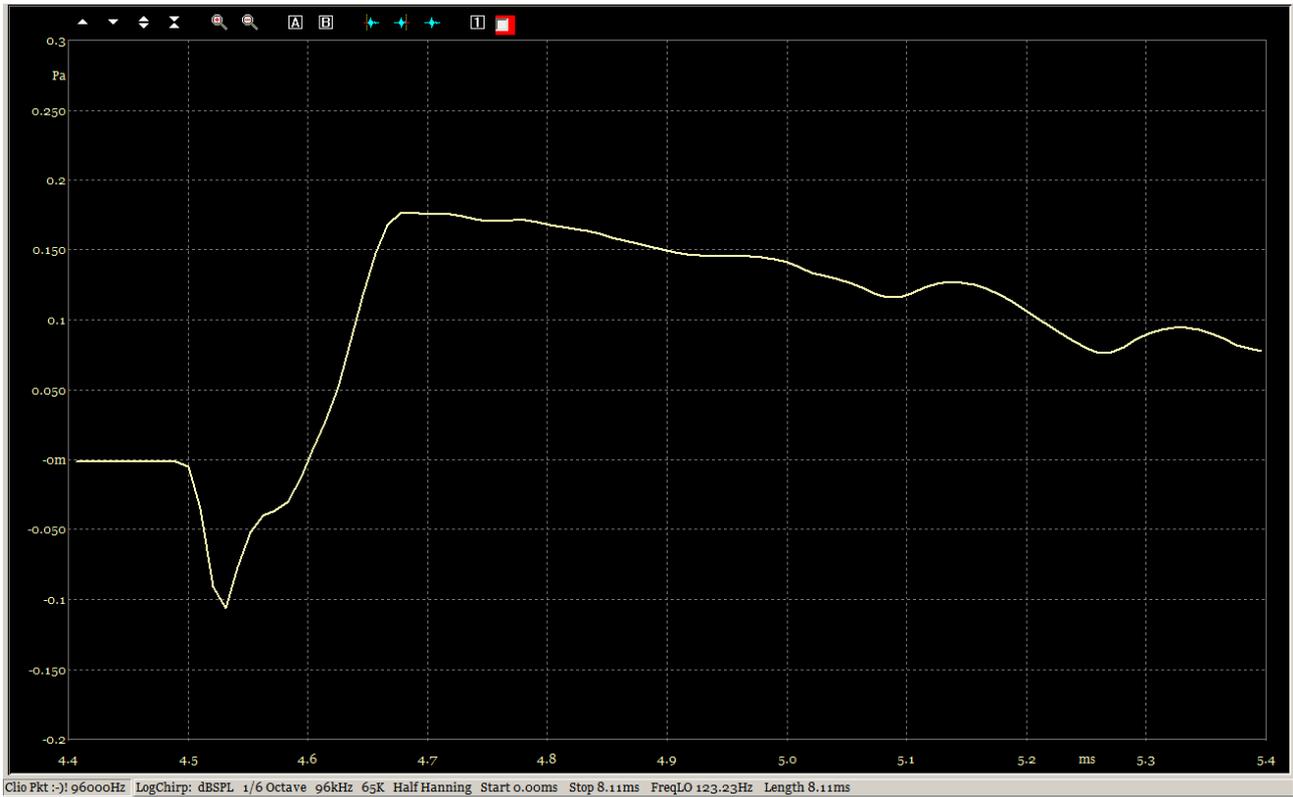


SA 1204-137 mm freq 2k64 06but Illum dir 0 us Revel step.png

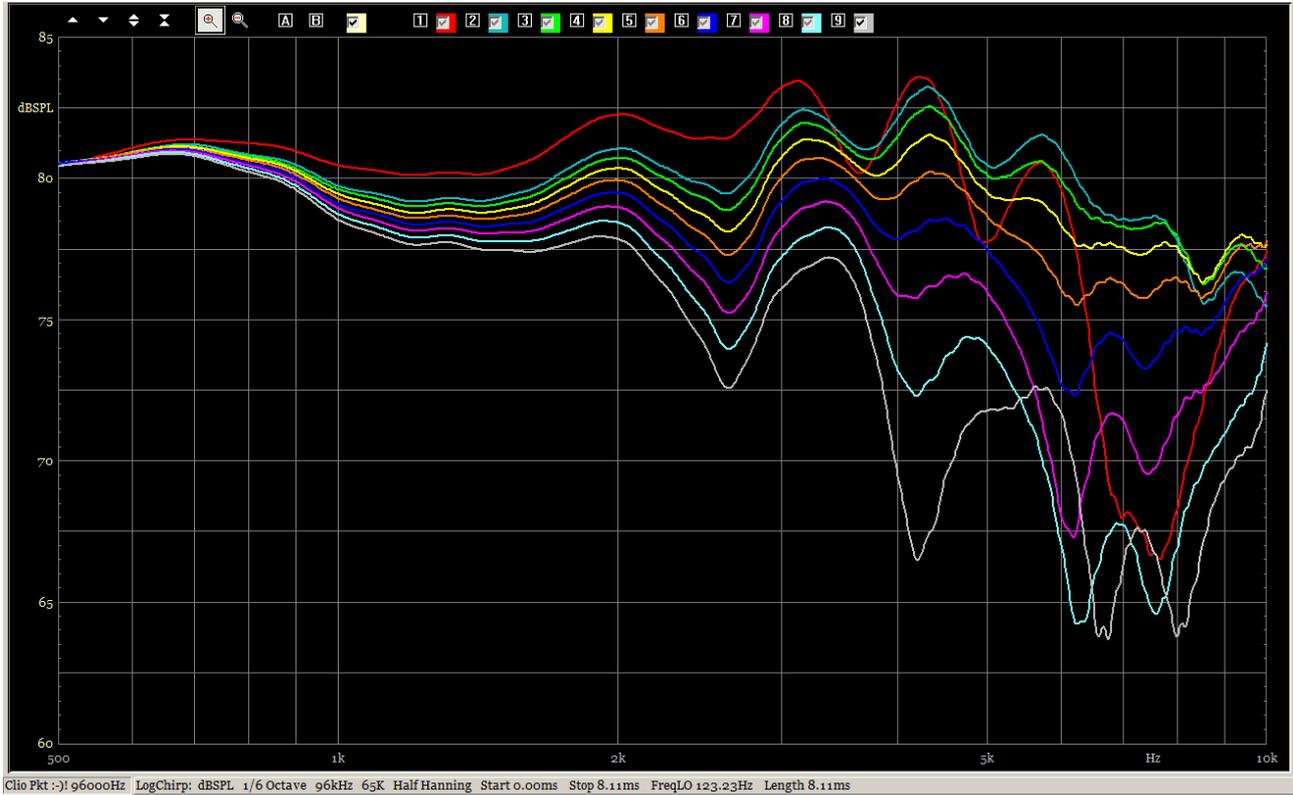


SB 1204-137 mm freq 2k64 06but Illum dir 0, 63 to 135 us Revel.png

rouge	0 μ s	jaune	83 μ s	mauve	115 μ s
bleu	63 μ s	orange	94 μ s	bleu clair	125 μ s
vert	73 μ s	bleu foncé	104 μ s	gris	135 μ s

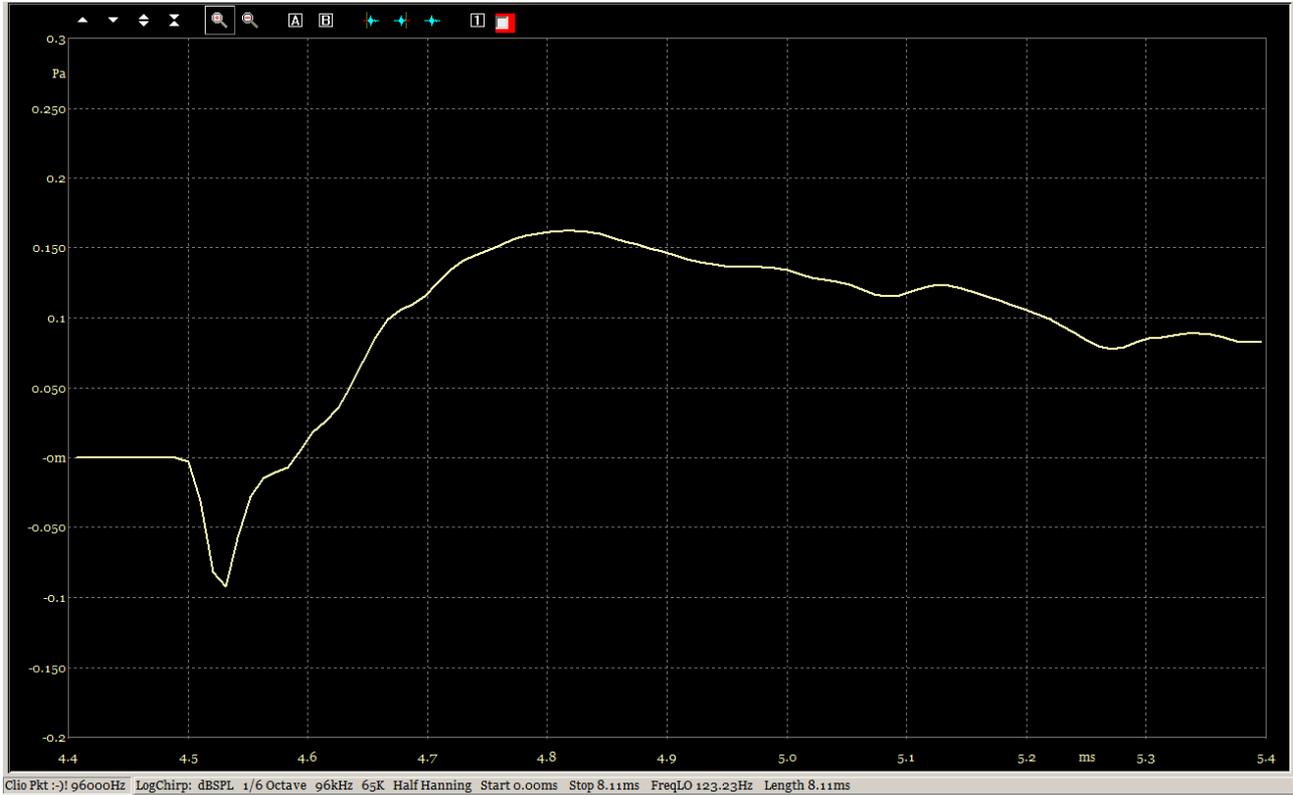


SC 1204-137 mm step 2k64 06but Illum inv 0 us Revel.png

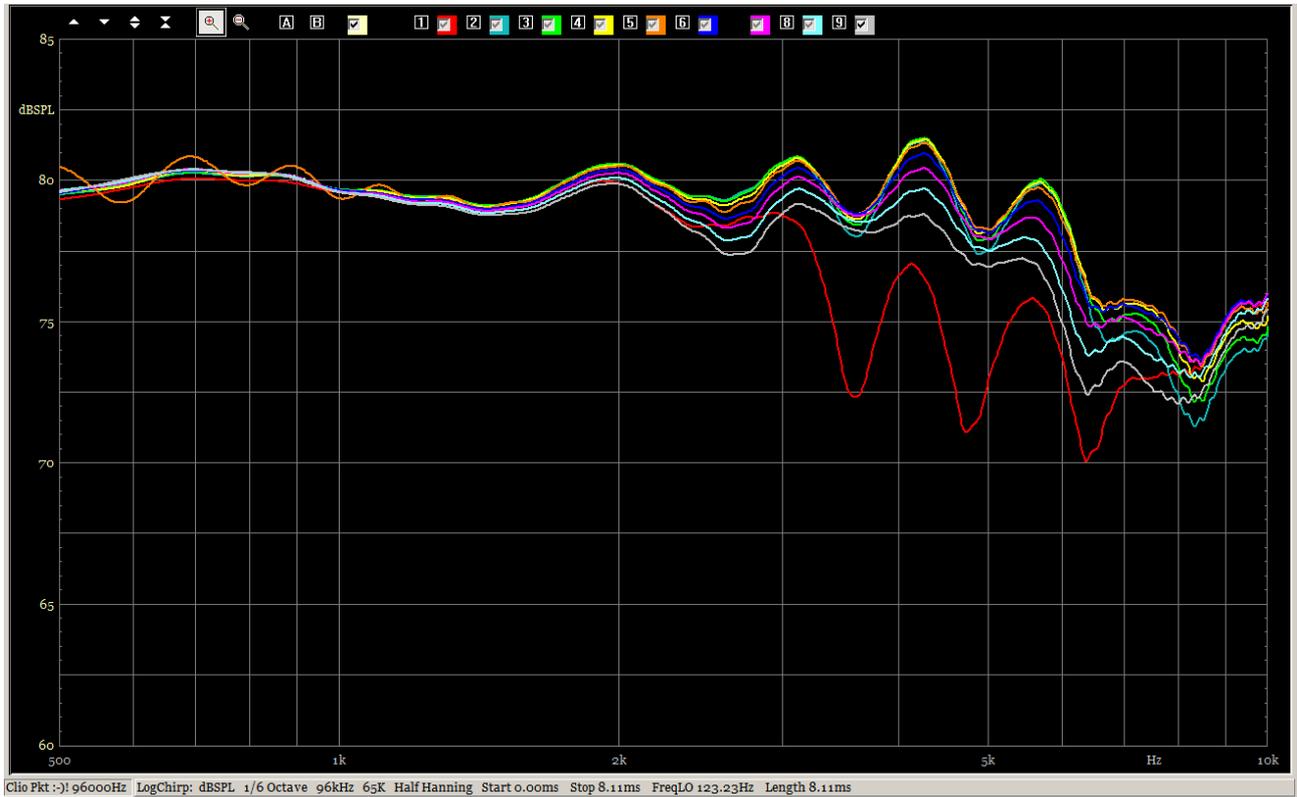


SD 1204-137 mm freq 2k64 06but Illum inv 0, 63 to 135 us Revel.png

rouge	0 μs	jaune	83 μs	mauve	115 μs
bleu	63 μs	orange	94 μs	bleu clair	125 μs
vert	73 μs	bleu foncé	104 μs	gris	135 μs

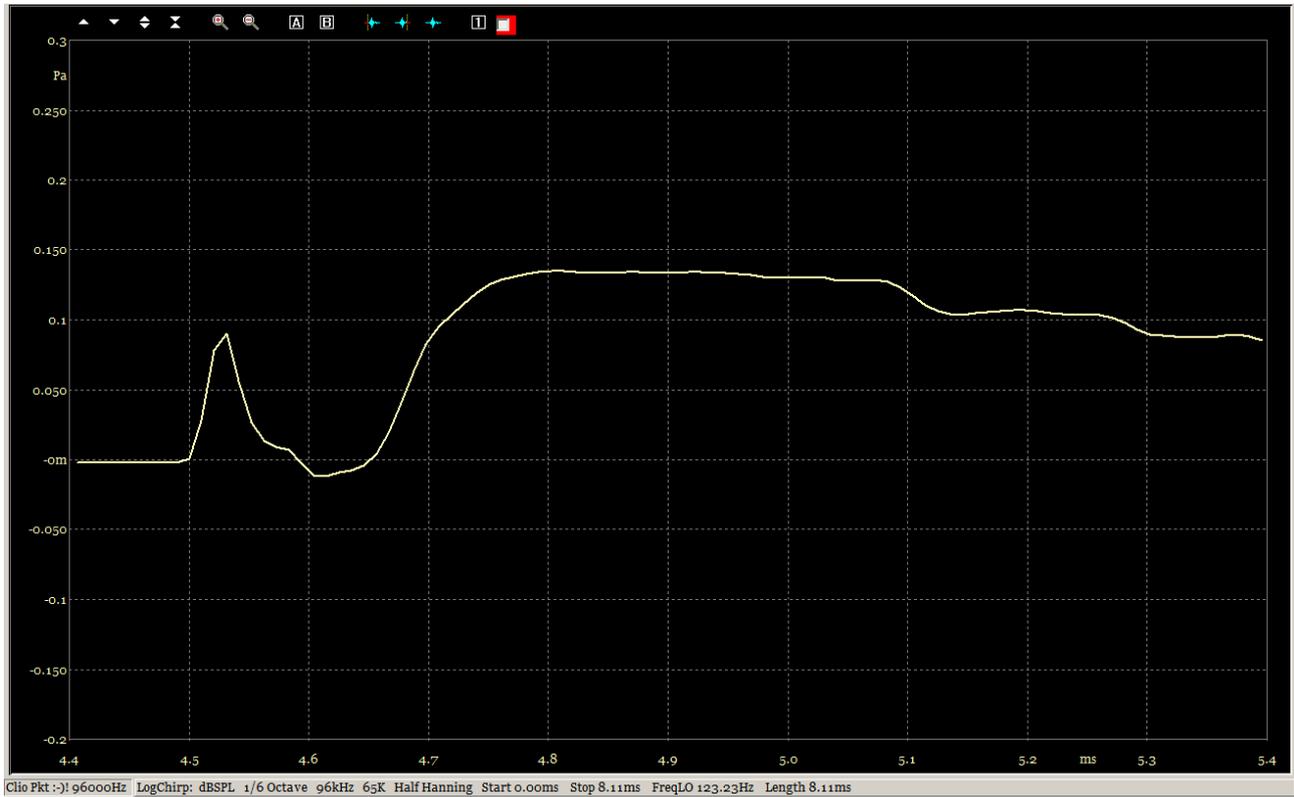


TA 1204-137 mm step 2k64 12lir Illum inv 0 us Revel.png

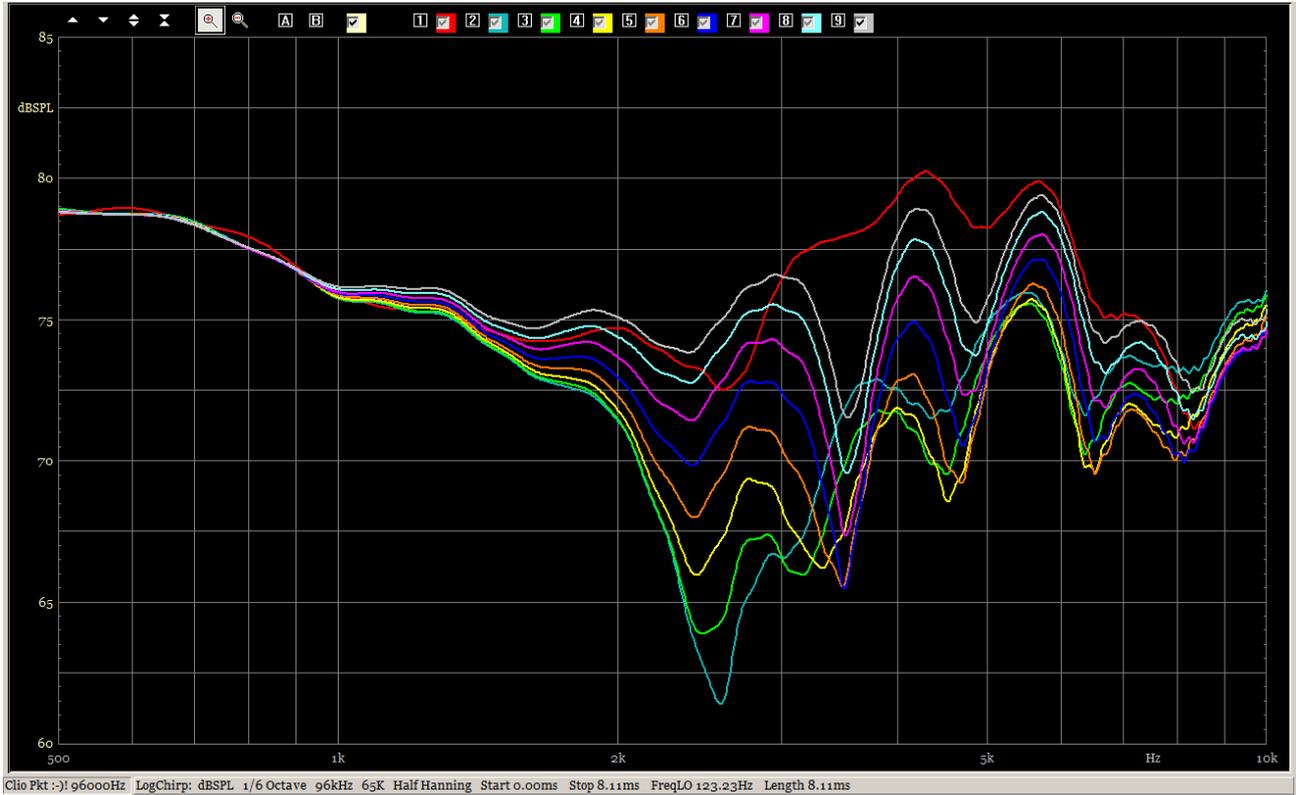


TB 1204-137 mm freq 2k64 12lir Illum inv 0, 63 to 135 us Revel.png

rouge	0 μs	jaune	83 μs	mauve	115 μs
bleu	63 μs	orange	94 μs	bleu clair	125 μs
vert	73 μs	bleu foncé	104 μs	gris	135 μs

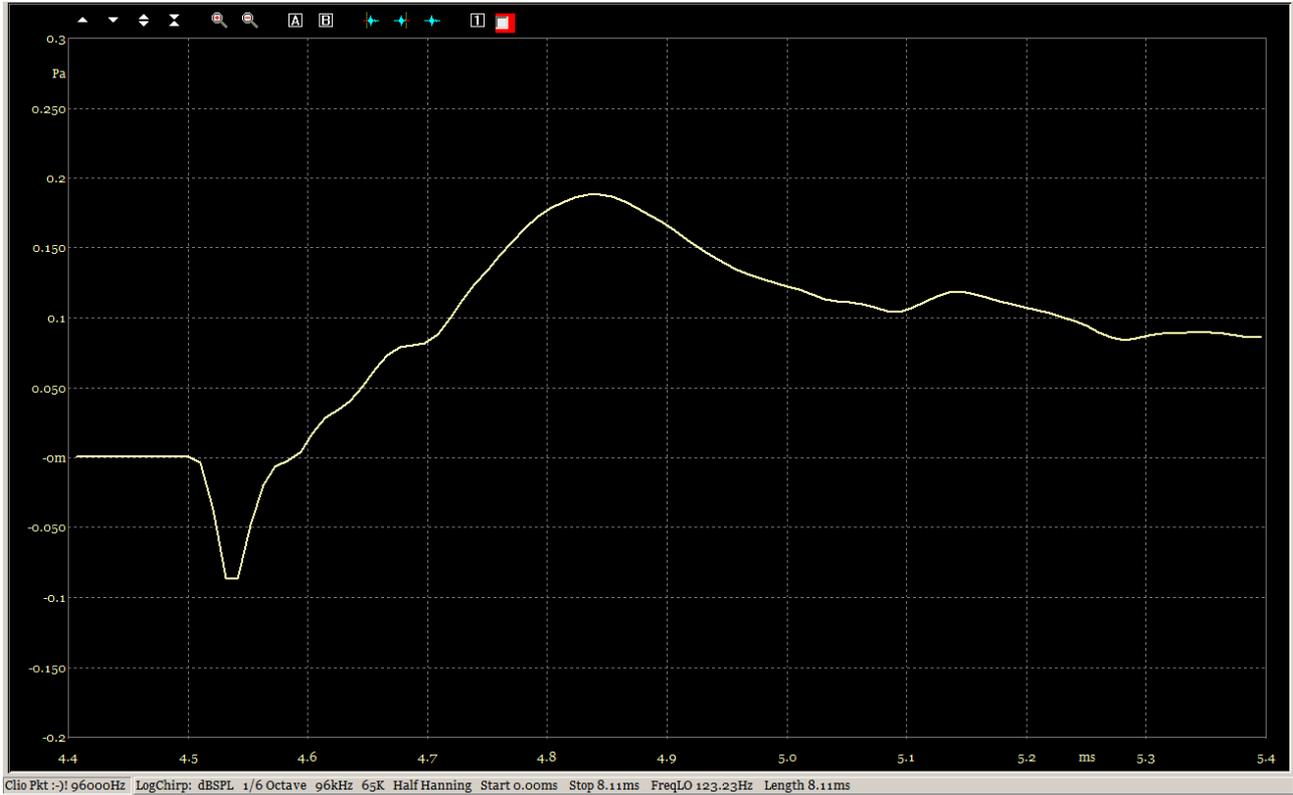


TC 1204-137 mm step 2k64 12lir Illum dir 0 us Revel.png

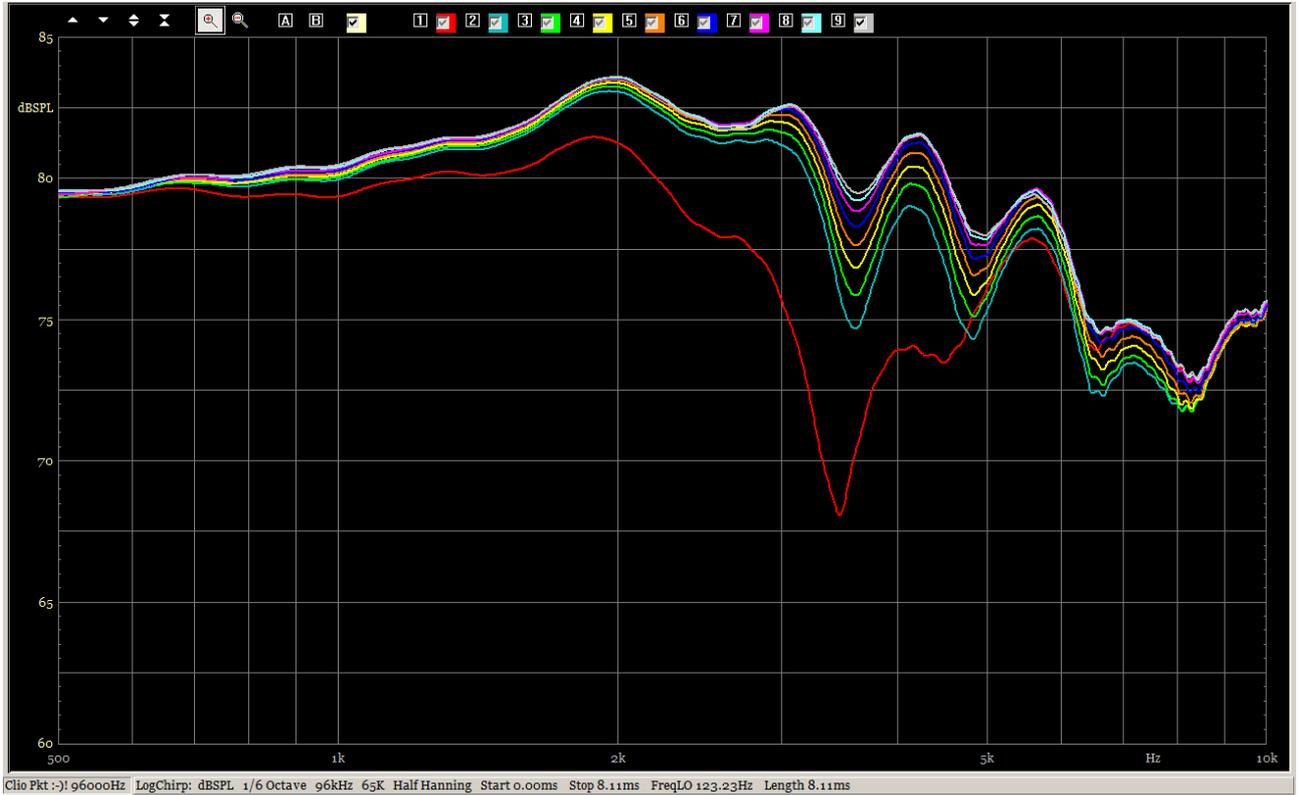


TD 1204-137 mm freq 2k64 12lir Illum dir 0, 63 to 135 us Revel.png

rouge	0 μ s	jaune	83 μ s	mauve	115 μ s
bleu	63 μ s	orange	94 μ s	bleu clair	125 μ s
vert	73 μ s	bleu foncé	104 μ s	gris	135 μ s

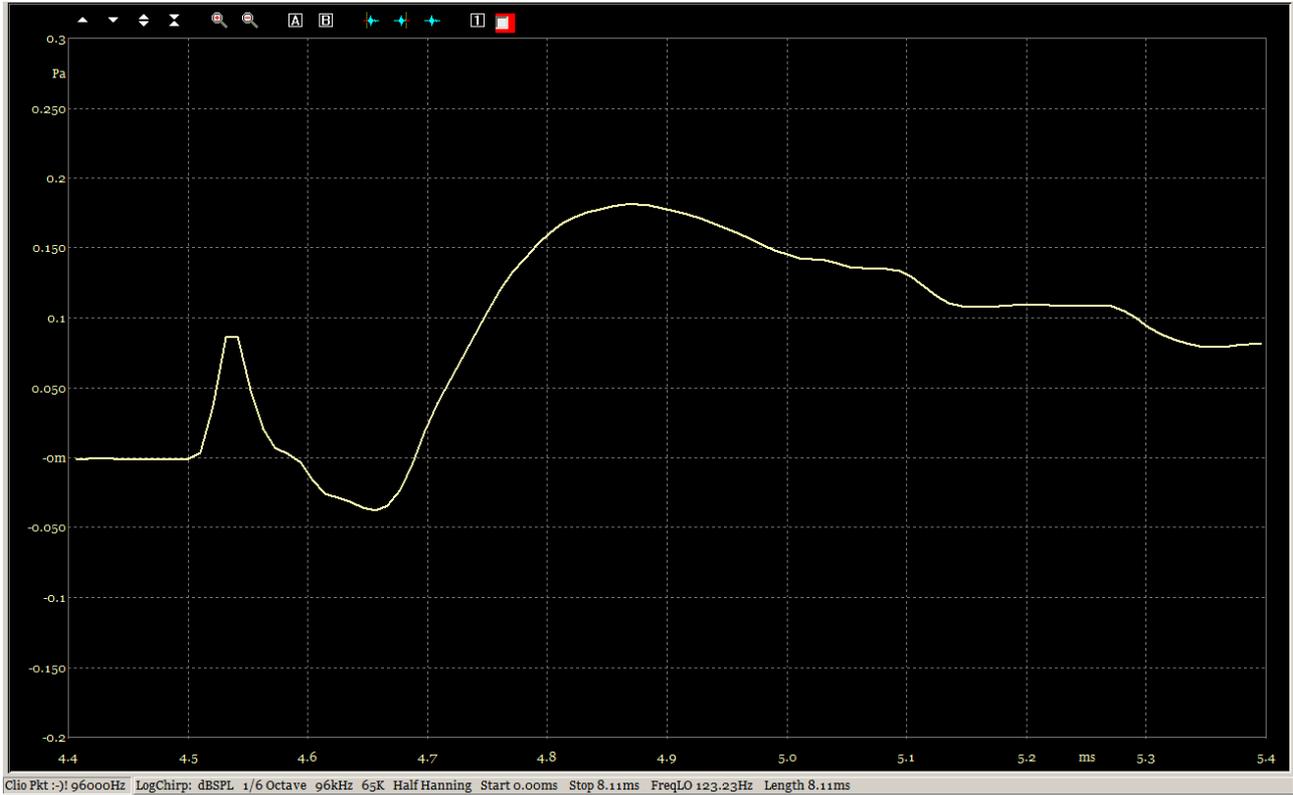


UA 1204-137 mm step 2k64 18but Illum inv 0 us Revel.png



UB 1204-137 mm freq 2k64 18but Illum inv 0, 63 to 135 us Revel.png

rouge	0 μ s	jaune	83 μ s	mauve	115 μ s
bleu	63 μ s	orange	94 μ s	bleu clair	125 μ s
vert	73 μ s	bleu foncé	104 μ s	gris	135 μ s

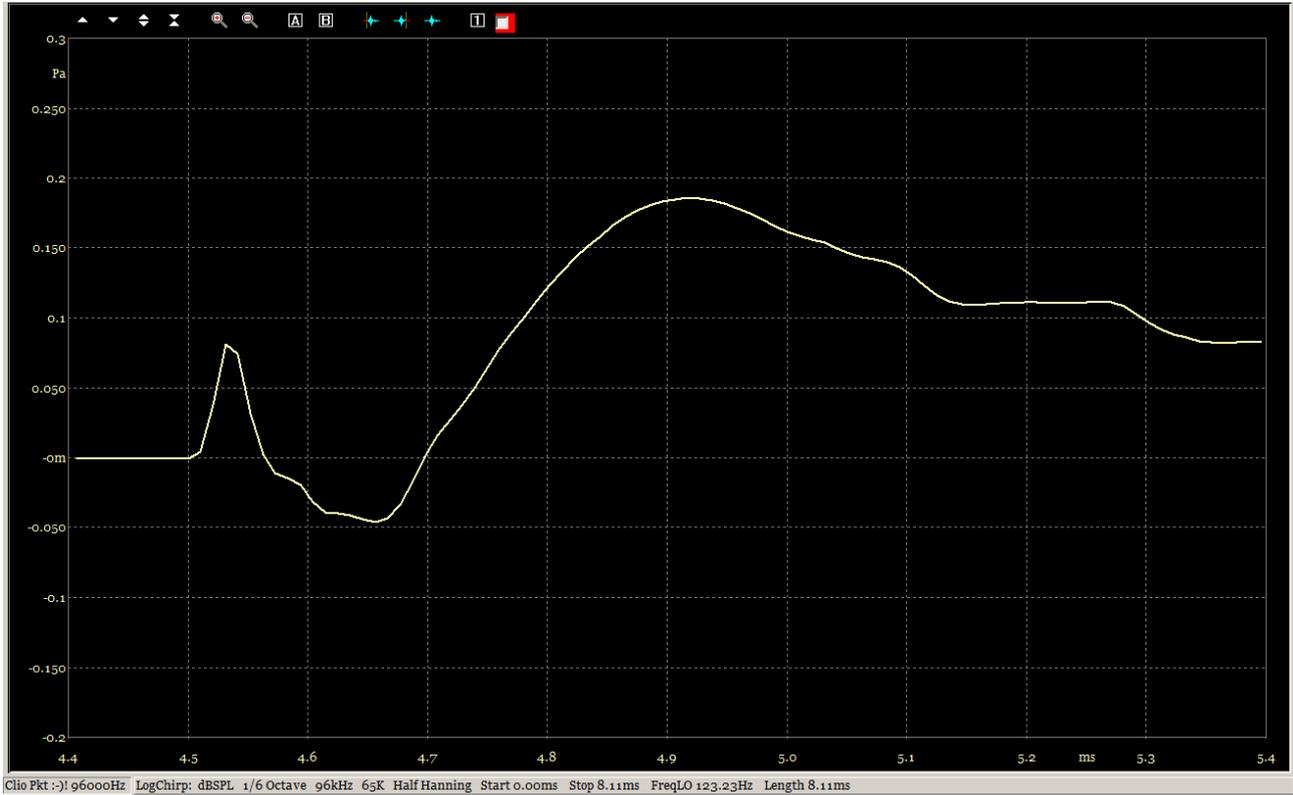


UC 1204-137 mm step 2k64 18but Illum dir 0 us Revel.png

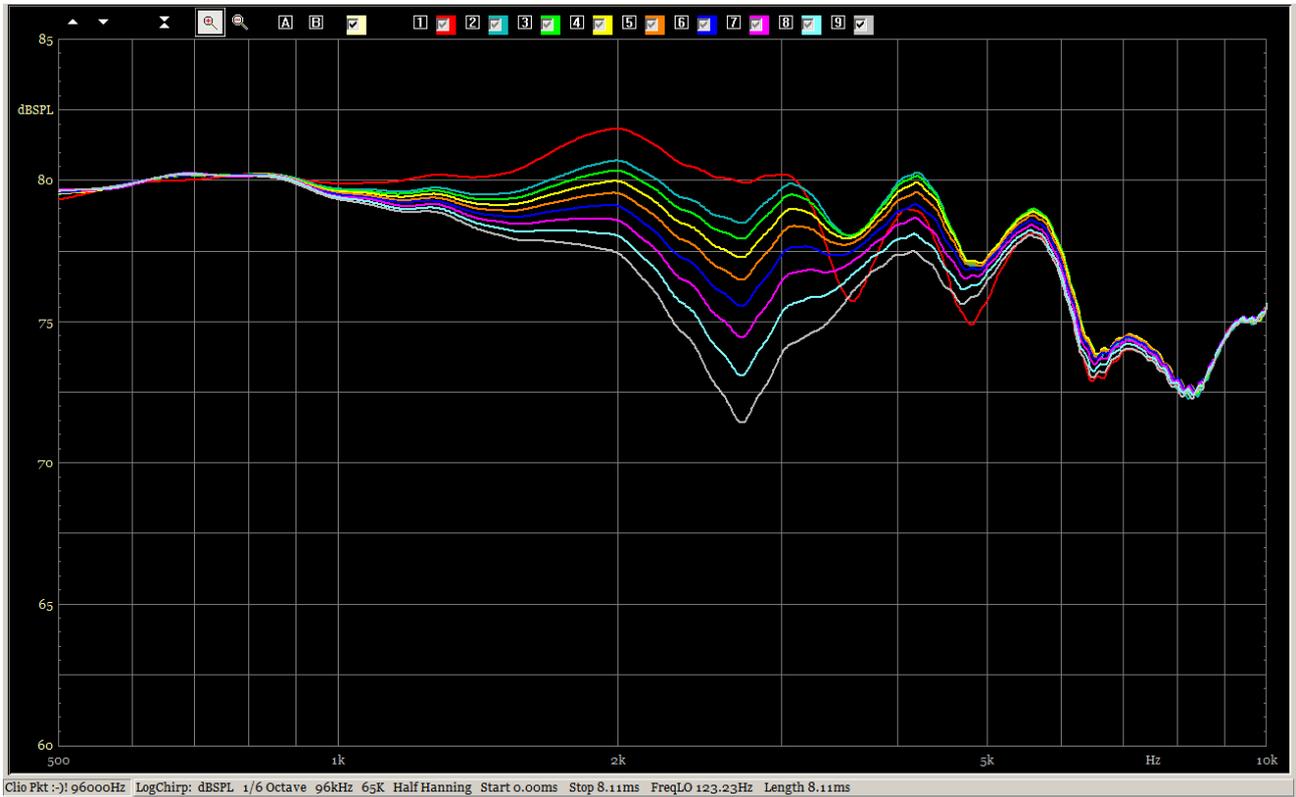


UD 1204-137 mm freq 2k64 18but Illum dir 0, 63 to 135 us Revel.png

rouge	0 μ s	jaune	83 μ s	mauve	115 μ s
bleu	63 μ s	orange	94 μ s	bleu clair	125 μ s
vert	73 μ s	bleu foncé	104 μ s	gris	135 μ s

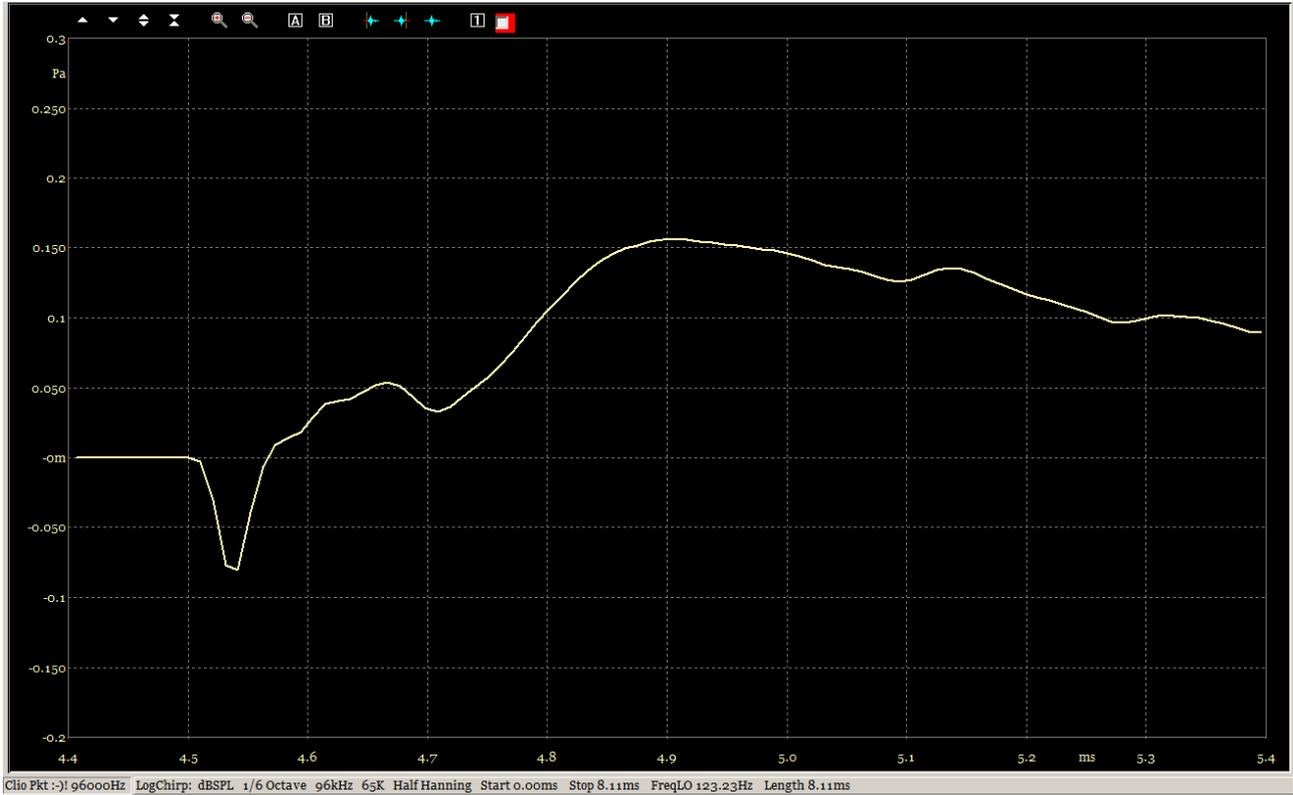


VA 1204-137 mm step 2k64 24lir Illum dir 0 us Revel.png

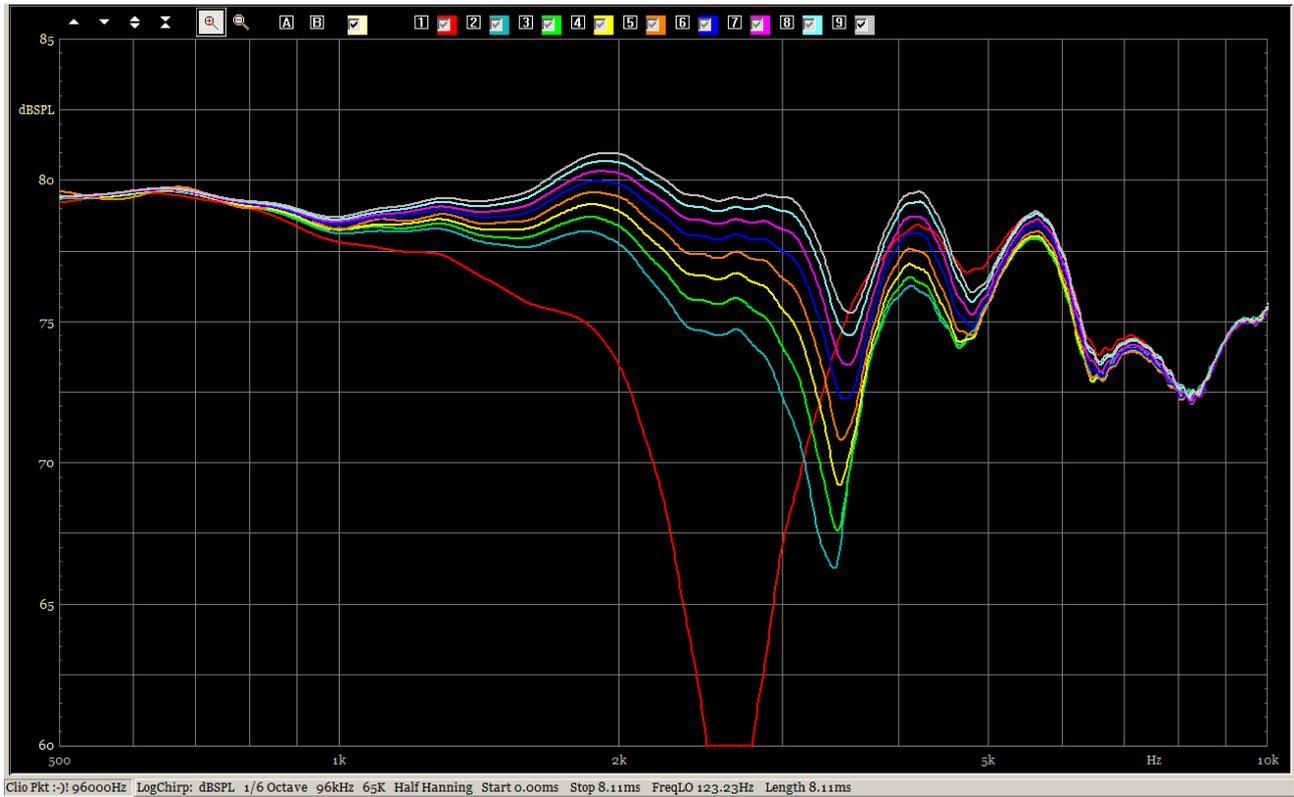


VB 1204-137 mm freq 2k64 24lir Illum dir 0, 63 to 135 us Revel.png

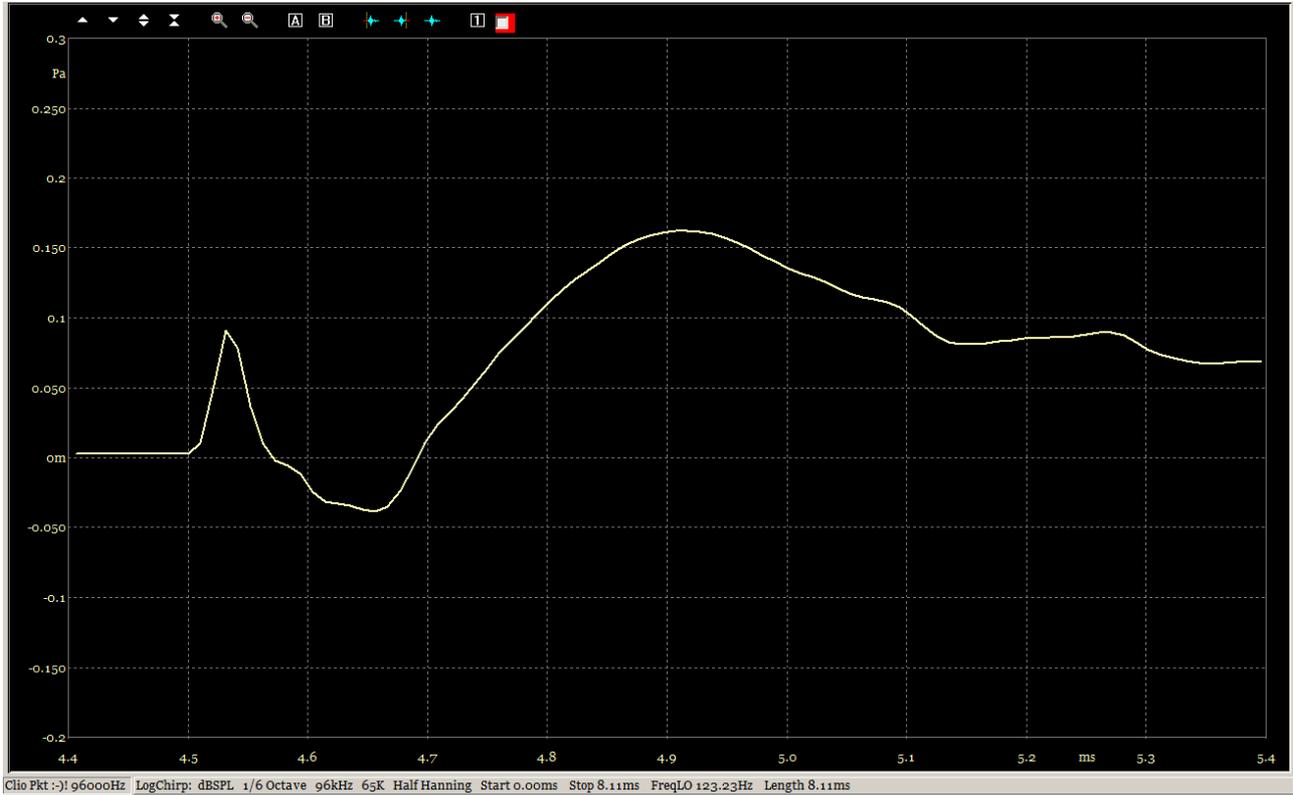
rouge	0 μ s	jaune	83 μ s	mauve	115 μ s
bleu	63 μ s	orange	94 μ s	bleu clair	125 μ s
vert	73 μ s	bleu foncé	104 μ s	gris	135 μ s



VC 1204-137 mm step 2k64 24lr Illum inv 0 us Revel.png



rouge	0 μ s	jaune	83 μ s	mauve	115 μ s
bleu	63 μ s	orange	94 μ s	bleu clair	125 μ s
vert	73 μ s	bleu foncé	104 μ s	gris	135 μ s

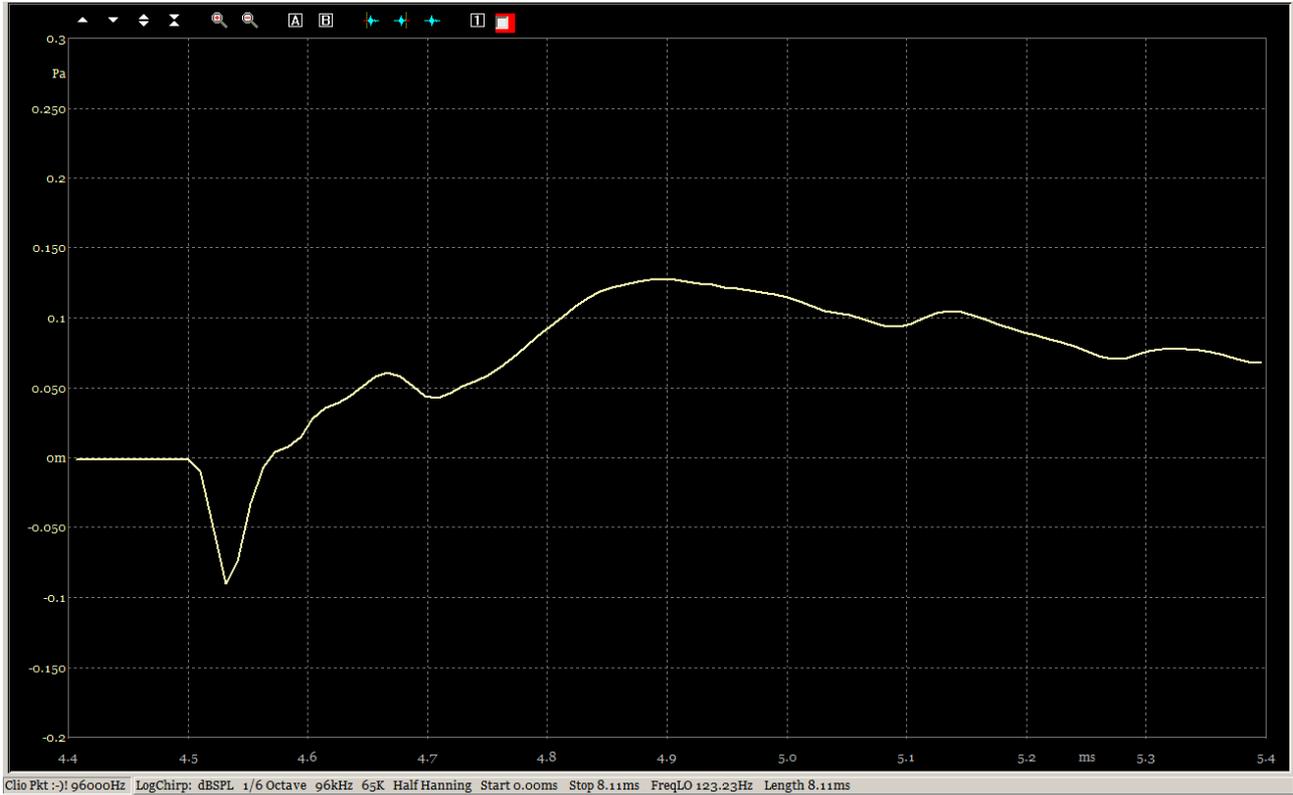


WA 1204-137 mm step 2k64 36ntm Illum dir 0 us Revel.png



WB 1204-137 mm freq 2k64 36ntm Illum dir 0, 63 to 135 us Revel.png

rouge	0 μ s	jaune	83 μ s	mauve	115 μ s
bleu	63 μ s	orange	94 μ s	bleu clair	125 μ s
vert	73 μ s	bleu foncé	104 μ s	gris	135 μ s

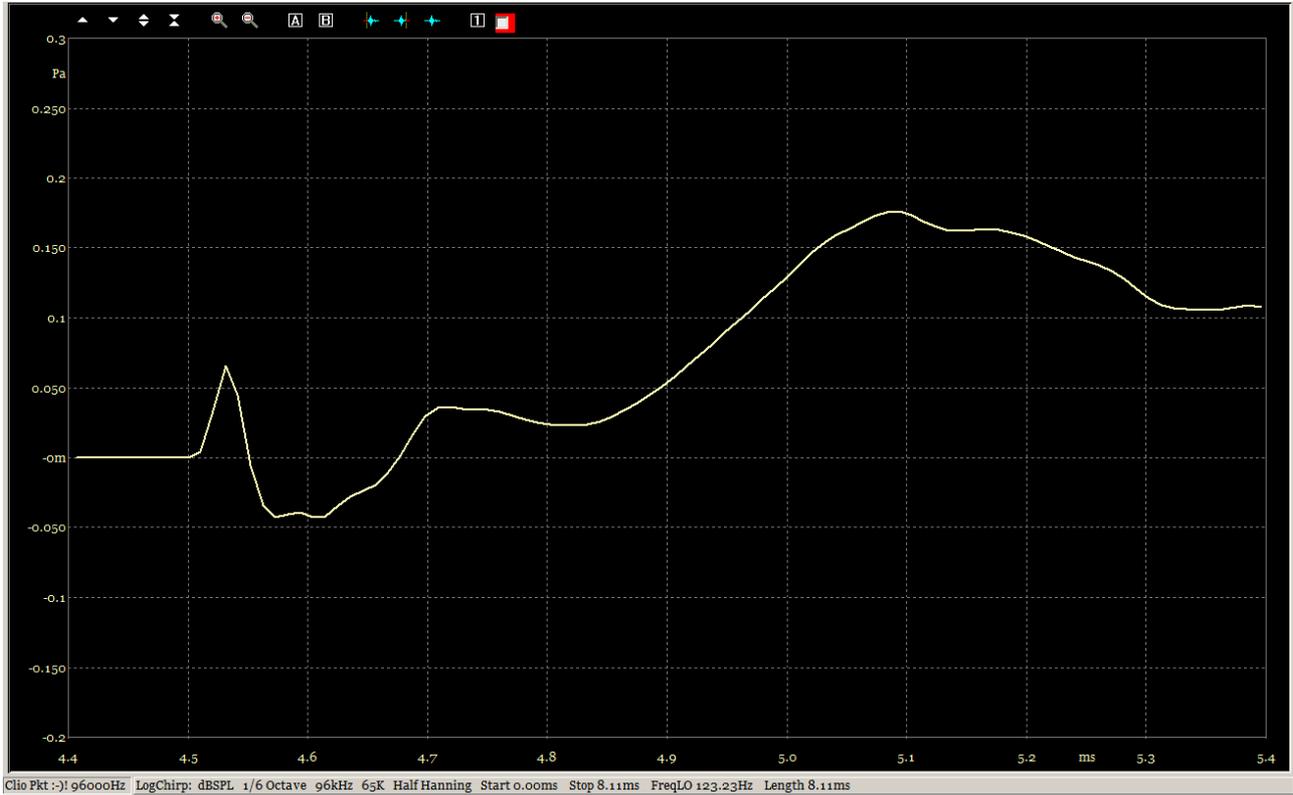


WC 1204-137 mm freq 2k64 36ntm Illum inv 0 us Revel.png



WD 1204-137 mm freq 2k64 36ntm Illum inv 0, 63 to 135 us Revel.png

rouge	0 μ s	jaune	83 μ s	mauve	115 μ s
bleu	63 μ s	orange	94 μ s	bleu clair	125 μ s
vert	73 μ s	bleu foncé	104 μ s	gris	135 μ s

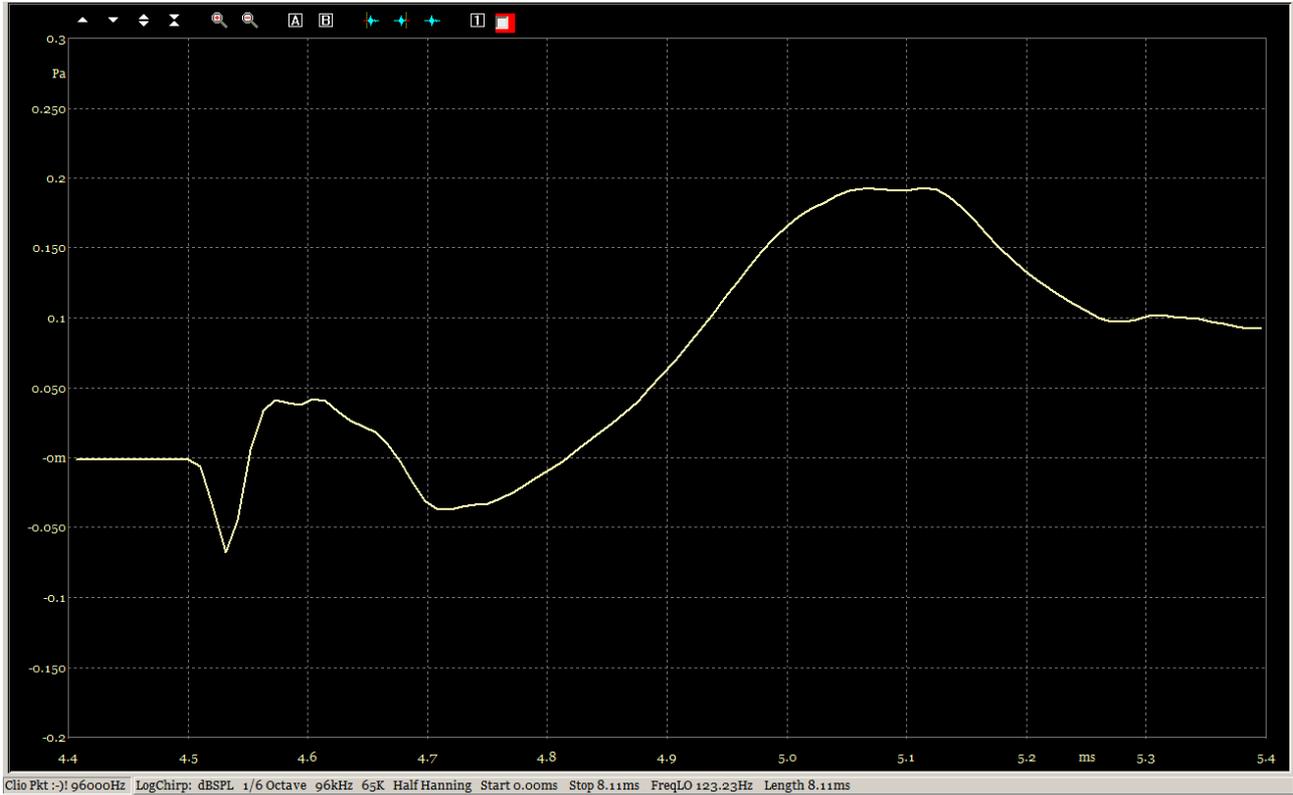


XA 1204-137 mm step 2k64 48lir Illum dir 0 us Revel.png

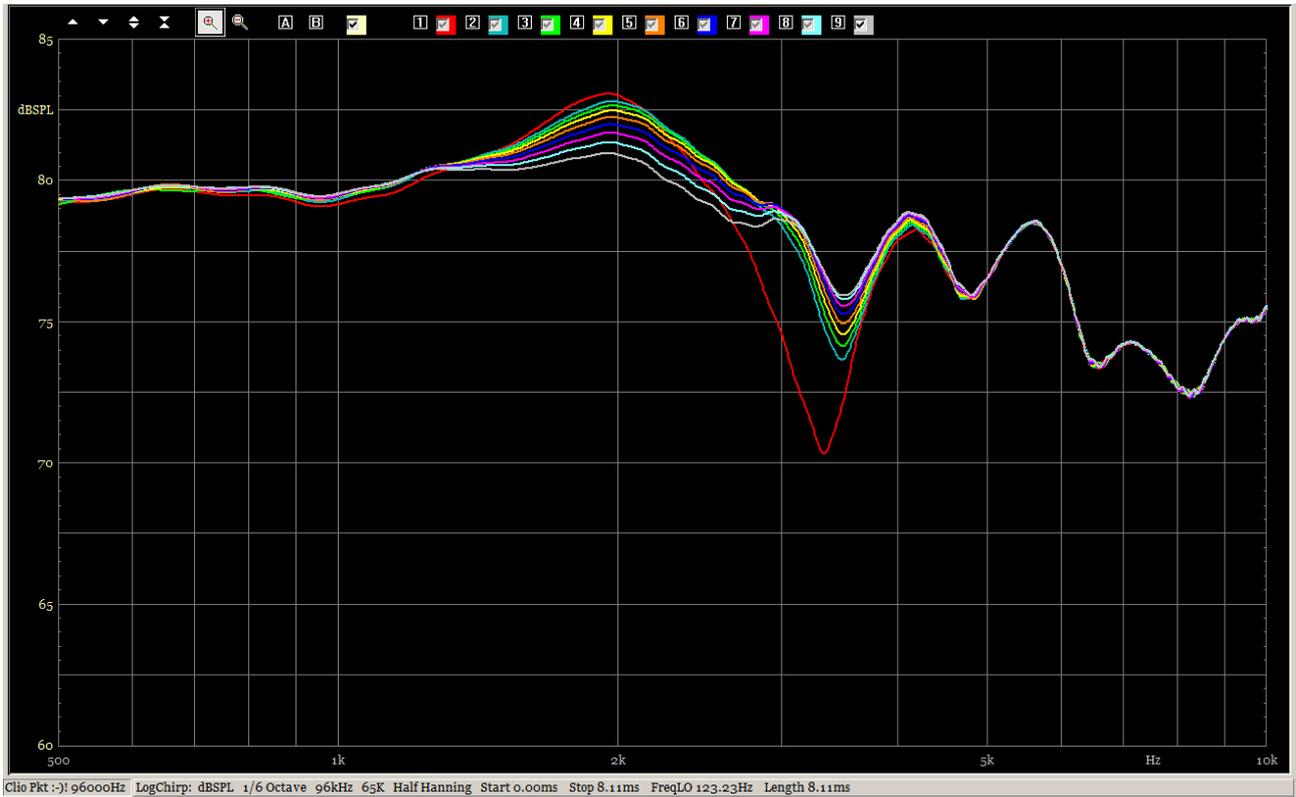


XB 1204-137 mm freq 2k64 48lir Illum dir 0, 63 to 135 us Revel.png

rouge	0 μs	jaune	83 μs	mauve	115 μs
bleu	63 μs	orange	94 μs	bleu clair	125 μs
vert	73 μs	bleu foncé	104 μs	gris	135 μs

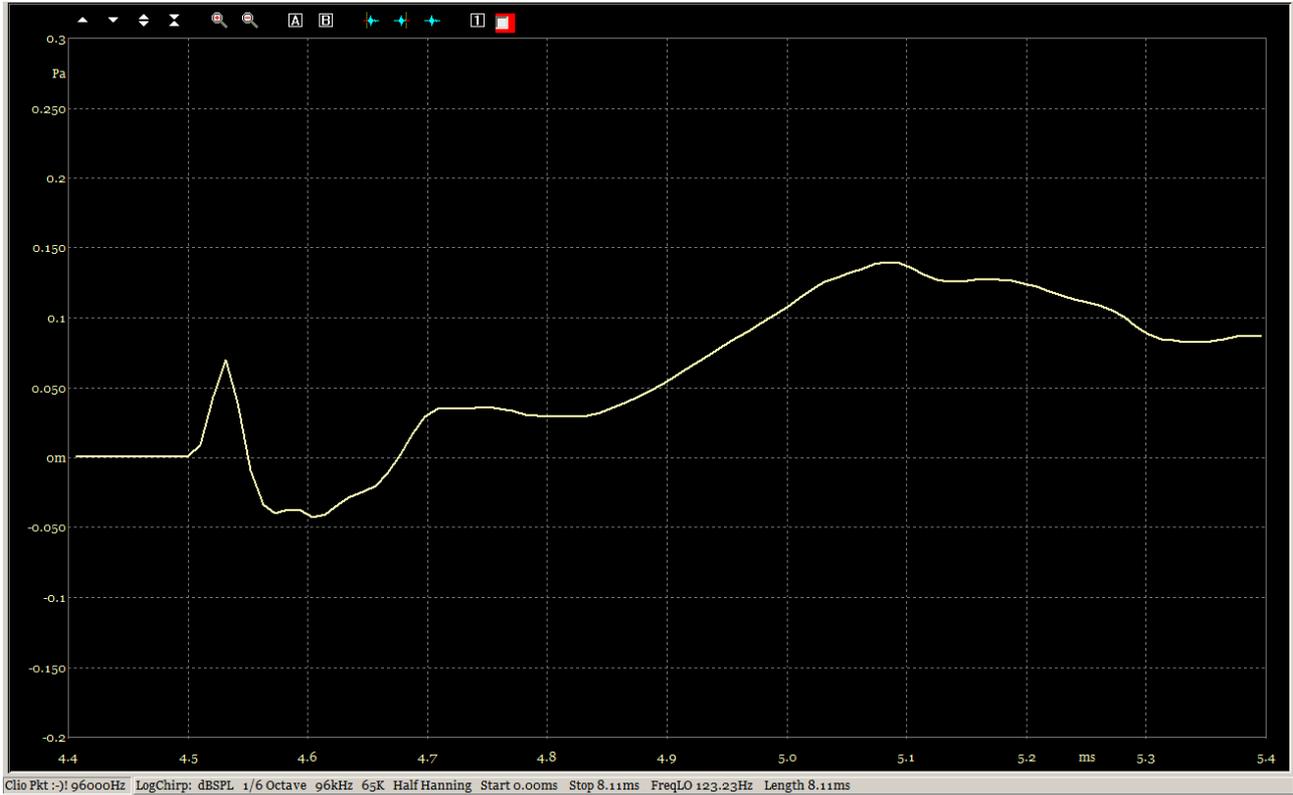


XC 1204-137 mm step 2k64 48lir Illum inv 0 us Revel.png



XD 1204-137 mm freq 2k64 48lir Illum inv 0, 63 to 135 us Revel.png

rouge	0 μ s	jaune	83 μ s	mauve	115 μ s
bleu	63 μ s	orange	94 μ s	bleu clair	125 μ s
vert	73 μ s	bleu foncé	104 μ s	gris	135 μ s

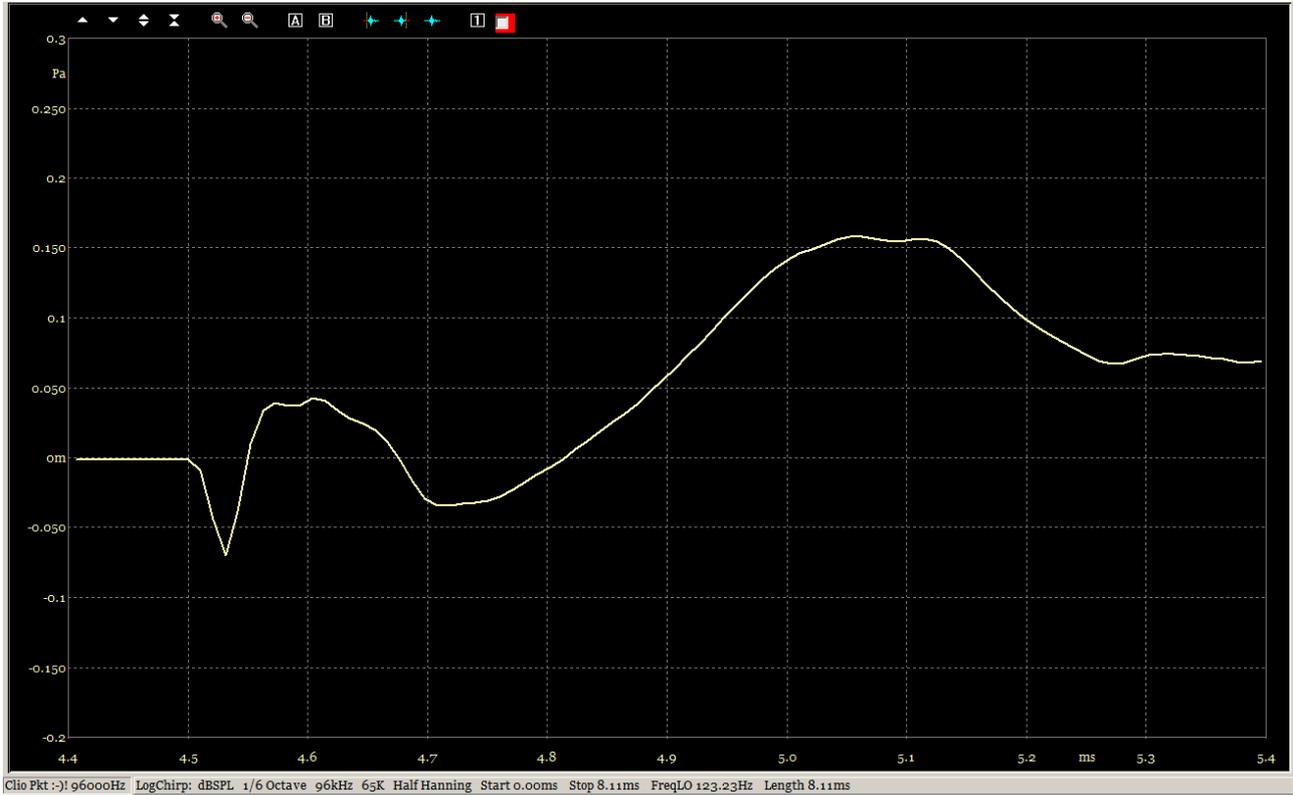


YA 1204-137 mm step 2k64 52ntm Illum dir 0 us Revel.png



YB 1204-137 mm freq 2k64 52ntm Illum dir 0, 63 to 135 us Revel.png

rouge	0 μ s	jaune	83 μ s	mauve	115 μ s
bleu	63 μ s	orange	94 μ s	bleu clair	125 μ s
vert	73 μ s	bleu foncé	104 μ s	gris	135 μ s



YC 1204-137 mm step 2k64 52ntm Illum inv 0 us Revel.png



YD 1204-137 mm freq 2k64 52ntm Illum inv 0, 63 to 135 us Revel.png

rouge	0 μ s	jaune	83 μ s	mauve	115 μ s
bleu	63 μ s	orange	94 μ s	bleu clair	125 μ s
vert	73 μ s	bleu foncé	104 μ s	gris	135 μ s

Conclusions et annexes

D'autres essais de réponse en fréquence ont été menées

- aux fréquences de croisement 2 et 3,48 kHz
- avec des filtrages à pentes supérieures : Butterworth d'ordre 3 (18 dB/o), Linkwitz-Riley d'ordre 4 et 8 (24 et 48 dB/o), NTM d'ordre 6 (36 dB/o).
- avec branchement du tweeter en polarité directe ou inverse.

Ils ont tous présenté des réponses en fréquences qui n'étaient pas systématiquement conformes à ce que l'on pouvait attendre de la sommation des voies.

Idées d'investigations futures

Quelle est l'influence sur les résultats

- d'un éloignement plus grand de la fréquence de résonance du tweeter par rapport à la fréquence de croisement du filtrage.
- d'une commande en courant du medium

Détails sur le nom des fichiers

référence servant à classer les fichiers

```

!
! distance en mm du baffle au micro
! !
! ! distance en mm séparant l'axe des haut-parleurs de l'axe du micro (1)
! ! !
! ! ! type de mesure (2)
! ! ! !
! ! ! ! type de filtrage (3)
! ! ! ! !
! ! ! ! ! abréviation de la référence du tweeter
! ! ! ! ! !
! ! ! ! ! ! abréviation de la référence
! ! ! ! ! ! ! du medium
! ! ! ! ! ! ! !
! ! ! ! ! ! ! ! extension du fichier
! ! ! ! ! ! ! ! !
HB 1204-60 mm freq 3k48 06but Illum dir 0 to 83 us Discov.png
! ! ! ! ! ! ! ! !
! ! ! ! ! ! ! ! ! +-----+
! ! ! ! ! ! ! ! !
! ! ! ! ! ! ! ! ! retards appliqués au tweeter (4)
! ! ! ! ! ! ! ! !
! ! ! ! ! ! ! ! ! polarité
! ! ! ! ! ! ! ! !
! ! ! ! ! ! ! ! ! fréquence de croisement en kHz,
! ! ! ! ! ! ! ! ! k remplaçant le point décimal

```

(1) C'est la distance entre les axes parallèles des haut-parleurs divisée par 2.

(2) step = réponse à un signal "step"; freq = courbe de réponse en fréquence.

(3) Abréviations pour les types de filtrage

06but	ordre 1	6 dB/o
12lir	ordre 2	Linkwitz-Riley 12 dB/o
18but	ordre 3	Butterworth, 18 dB/o
24lir	ordre 4	Linkwitz-Riley 24 dB/o
32ntm	ordre 6	elliptique 36 dB/o
48lir	ordre 8	Linkwitz-Riley 48 dB/o
52ntm	ordre 8	elliptique 52 dB/o

(4) Dans cette étude :

Illum = tweeter Scanspeak Illuminator
 Discov = medium Scanspeak Discovery
 Revel = grave-medium Scanspeak Revelator

(5) Lorsque la lettre grecque "µ" peut être une source d'incompatibilité dans l'informatique, elle est remplacée par "u". Un micro-seconde qui s'abrécie "µs" dans le texte fait place alors à "us".

0 µs pour le retard indique qu'aucun retard n'est ajouté à la latence du processeur fixée ici à 1 ms.

S'il y a la mention "to" (= "à" en français), cela indique la plage de retards pour laquelle ont été dressées les différentes courbes.

Dans cette étude, on trouve

0 to 83 µs	0, 10, 21, 32, 42, 52, 62, 73, 83
0, 63 to 115	0, 63, 73, 84, 94, 105, 115
0, 52 to 135 µs	0, 52, 63, 84, 94, 105, 115, 125, 135



