

# Tutoriel Arta

## Ce tutoriel a été rédigé par Dominique-Tanguy dans le cadre de mesures pour optimiser la conception d'un filtre passif

Suite à mon expérience récente d'optimisation du filtre passif de mes VOT, j'ai pensé intéressant de démarrer, en toute modestie, un petit tutoriel décrivant le processus et les outils à mettre en œuvre pour mettre rapidement au point un bon filtre passif. J'ai choisi l'espace mesure, j'aurais pu choisir l'espace filtres, mais je ne crois pas que cela soit important.

Anaël (Nashorn), qui m'a beaucoup aidé dans ma démarche, et Eric (EBA) se sont portés volontaires pour participer à ce petit travail.

Je propose donc de traiter différents sujets dans différents messages, certains rédigés par moi, d'autres par Anaël. D'autres volontaires sont évidemment les bienvenus !

**Les commentaires ou observations peuvent être adressés sur le fil associé que j'ai [créé ici](#).**

Le sommaire et plan de travail est le suivant :

- [1. La chaine de mesure](#) : [Le matériel](#) et [Les logiciels](#)
- [2. Les éléments du filtre](#)
- [3. Faut-il "calibrer" la carte son](#) et le micro ?
- [4. Mesure de l'impédance des haut-parleurs avec LIMP](#) (fabrication du « jig »)
- [5. Mesure initiale de la réponse en fréquence de chaque HP](#) (nus et installés/chargés) avec ARTA.
- [6. Comment choisir son type de filtre](#) (Par EBA)
- [7. Mesure du délai de groupe de chaque HP pour établir les fréquences de coupure](#) (notion de fenêtrage)
- [8. Importation des fichiers d'impédance et de fréquence dans SpeakerWorkshop \(SPW\)](#)
- [9. Illustration avec SpeakerWorkshop d'un mauvais filtrage à 6dB](#)
- [10. Correction d'impédance avec LPAD](#)
- [11. Vérification des pentes obtenues et réglages des niveaux](#)
- [12. Alignement des haut-parleurs](#)
  - [12.1 L'alignement des haut-parleurs \(courbe de réponse et CSD\)](#)
  - [12.2 L'alignement des haut-parleurs \(Implusion\)](#)

## 1. La chaine de mesures

### 1.1 Le matériel

Pour commencer, il faut un micro, et surtout, ne pas faire l'économie du pied qui va avec. J'utilise un micro [Behringer ECM-8000](#). le prix est dérisoire pour le service rendu. Je l'ai fait calibrer, mais les écarts identifiés lors de la calibration étaient très faibles. Je crois qu'on peut l'utiliser en l'état, étant donné les autres aléas de la mesure.

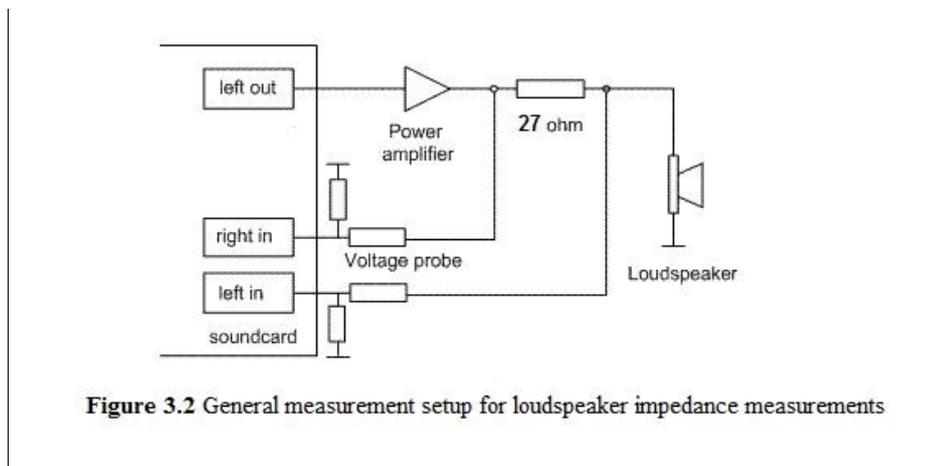
Le pied est très important, car il va falloir répéter les mesures de nombreuses fois, quelques fois à plusieurs jours d'intervalle. On trouve des [pieds de micro ajustables](#) pour moins de 10 Euros. Par rapport au prix des composants, c'est insignifiant, donc, il ne faut pas bricoler...

Le micro doit être relié à une carte son, intégrée au PC ou indépendant. Le câble micro est un câble XLR. Il faut le prendre suffisamment long si on veut faire des mesures au point d'écoute ou si le PC est loin de la chaîne.

Pour la carte son, j'utilise une [Tascam 122](#). Il y en a beaucoup d'autres, mais celle-ci était listée comme adaptée dans le manuel d'ARTA. Elle doit être bidirectionnelle, et permettre l'alimentation du micro (alimentation dite fantôme). C'est un des éléments le plus cher pour l'investissement initial.

Si la carte son est indépendante (Tascam, Roland...) il faut un câble USB assez long pour relier le PC (fixe ou portable) à la carte son.

Pour finir, il faut fabriquer un petit « jig » qui va servir à la mesure d'impédance avec LIMP. Je joins le schéma qui se trouve dans le manuel de LIMP. (Chapitre 3). On peut faire un câblage volant (pour les paresseux comme moi) ou mettre ça dans une petite boîte. Le montage sert à relier la sortie (gauche) analogique de la carte son à l'amplificateur. Ce dernier sera relié au haut-parleur que l'on souhaite mesurer. Une résistance d'environ 27 Ohms est insérée entre l'ampli et le HP. On verra plus tard que la valeur de cette résistance doit être rentrée dans les paramètres de LIMP. Chaque côté de la résistance est reliée aux entrées analogiques de la carte son (gauche et droite). Ce petit montage est indispensable. Les « voltage probe » du schéma ne sont pas nécessaires.



**Schéma de principe utilisé pour la mesure d'impédance**

Donc côté matériel, on s'en sort pour moins de 200 Euros.

## 1.2 Les logiciels

Tout d'abord, la suite ARTA (LIMP et ARTA). Pourquoi ARTA ? J'utilise aussi REW, qui semble plus facile au premier abord. ARTA a été choisi par les meilleurs intervenants de ce forum. Leurs compétences leur permettent d'exploiter les très nombreuses et puissantes fonctions de ce logiciel. Ce tutoriel ne fera qu'effleurer les nombreuses possibilités de ARTA. Alors pourquoi s'handicaper avec cette interface un peu rébarbative ?

Vous allez vite comprendre que, pour les besoins de ce tutoriel, nous allons utiliser quelques fonctions de manières répétitives. La familiarisation avec le logiciel va être très rapide. Vous ne deviendrez pas expert pour autant (moi non plus) mais vous saurez faire une mesure et enregistrer des fichiers interprétables par d'autres, qui sauront si besoin en tirer des informations qui vous seront très utiles. Donc, il faut investir quelques Euros de plus pour acquérir une licence [ARTA à 79 Euros](#).

ARTA fonctionne sur PC. Si vous avez un MAC, il faut passer par un émulateur.

Pour la conception du filtre et sa mise au point, j'ai découvert Speaker Workshop (Merci encore Anaël). C'est un freeware (PC également) dont nous allons, comme avec ARTA, n'exploiter qu'une partie des fonctions, mais qui va vous faire gagner beaucoup de temps (et d'argent).

Donc, si vous voulez continuer avec la mesure et concevoir de bons filtres passifs, il faut investir un peu d'argent au départ (250 à 260 Euros). Mais si comparez avec le prix de votre matériel, et le prix de certains composants audiophiles (prochain message), je vous assure que l'investissement est très rentable !

## 2. Les éléments du filtre

Les filtres passifs usuels sont soit du 1er ordre (6 db par octave), 2ème ordre (12db par octave) et 3ème ordre (18db par octave). On peut aller plus loin, mais le nombre des composants, pour un filtre 3 voies, devient impressionnant, surtout si on veut intégrer des LPAD pour l'ajustement des niveaux et des réseaux de compensation d'impédance.

Les composants usuels sont des résistances, des condensateurs et des bobines ou selfs. Les prix varient beaucoup en fonctions de la qualité. Certains condensateurs dits « audiophiles » atteignent des prix déliants. Il faut donc faire attention, Un condensateur Duelung à 500 Euros ne donnera rien de bon si sa valeur n'est pas adaptée... Mon conseil est de démarrer avec des composants standards.

Des [résistances 10 watts MOX](#), des [condensateurs MKP](#) (pas la peine de démarrer avec des Mündorf Suprême argentés...) feront l'affaire. On peut aussi trouver des condensateurs intéressants sur Ebay. De toute façon, il va falloir panacher pour obtenir les bonnes valeurs.

Pour les bobines, on s'inquiète souvent de leur résistance série, surtout pour le grave. Là encore, il y a des solutions chères (Mündorf 0 Ohms) et des moins chères ([Intertechnik Ferrobar](#)) dont les performances sont excellentes.

Là encore, il faudra ajuster les valeurs (en déroulant les selfs).

Pour résumer, il faut s'équiper avec un lot de composants, résistances de 1 à 56 Ohms, condensateurs de 0,5 uF à 40 et plus, selfs de 0,2 à 6 mH et se constituer un petit stock, évidemment, en fonction de la complexité du filtre à réaliser (2 ou 3 voies, 6 ou 18 db par octave).

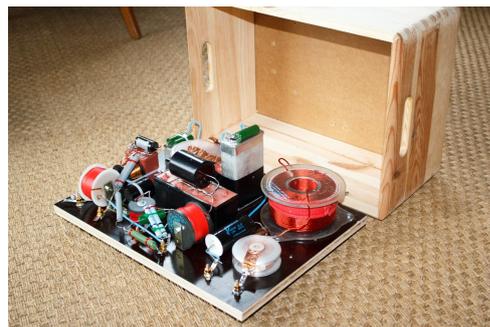
Pour ajuster les valeurs, il faut aussi disposer d'un multimètre permettant de mesurer les condensateurs et les selfs. [Ce modèle](#) m'a été recommandé par Dominique (de Conflans). J'en suis très content.

Donc éviter les composants de luxe au début. Quand le projet sera abouti, vous pourrez toujours vous faire plaisir en remplaçant des condensateurs MKP par des papiers huilés.

Pour finir, il faut fixer les composants et les prises sur quelque chose. Une plaque en CTP de 16mm fera l'affaire. J'ai recouvert la mienne d'une boîte en bois standard trouvé dans le magasin de bricolage local. Je joins une photo. Ne rigolez pas, c'est difficile de maintenir tout ça bien propre quand on rajoute des composants...



Connexions



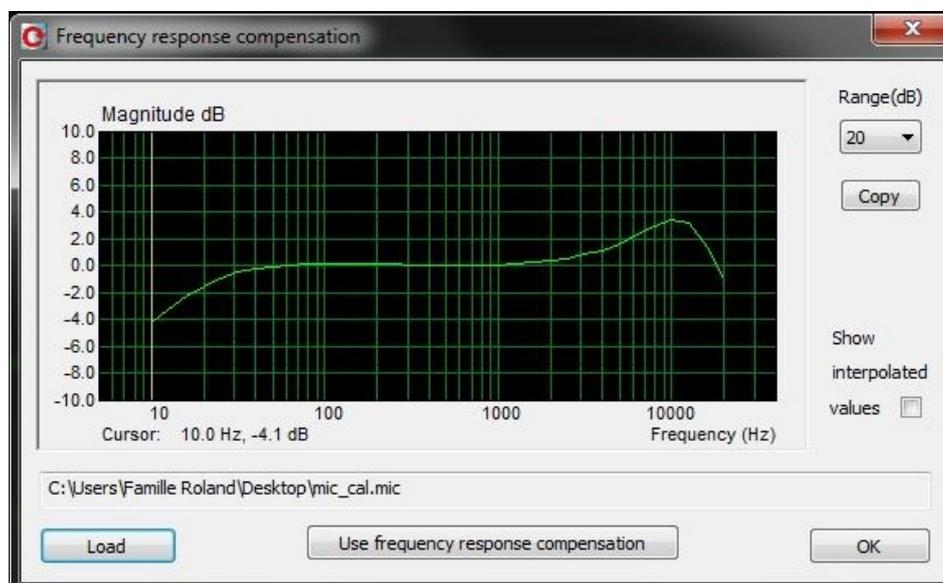
Vue du filtre

### 3. Faut-il « calibrer » la carte son ?

Ce sujet est traité dans le paragraphe 1.5 du manuel ARTA. La réponse à la question dépend du matériel utilisé. Les cartes type Tascam sont équipées de potentiomètres permettant de régler les volumes d'entrée (ligne et micro) et volumes de sortie. Les valeurs mesurées et lues en db ne seront pas exactes, mais ce n'est pas important. La mesure n'est donc pas juste, mais elle doit être fiable (répétitive). Il faut donc repérer les réglages sur la carte si on veut pouvoir comparer les mesures. On peut faire différents essais avant de se fixer sur une position de potentiomètre, ou on peut faire les mesures décrites dans le manuel d'ARTA. J'essaye par exemple de régler le volume d'entrée du micro juste avant l'écrêtage, qui est signalé par une Led sur la carte Tascam.

Pour le micro, c'est différent... Si le micro est calibré, on peut le prendre en compte en indiquant à ARTA ou se trouve le fichier permettant de faire une compensation sur la courbe de réponse. Quand j'ai fait calibrer mon Behringer, les erreurs trouvées étaient négligeables. Eric m'a fait parvenir un fichier de calibration standard pour Behringer qui montre des écarts plus importants (jusqu'à 3 db).

Pour utiliser ce fichier, il faut renommer le fichier .txt en .mic, puis dans Arta, cliquer sur le menu « Setup » / « FR compensation », cliquer ensuite sur « load » et ouvrir le fichier [mic\\_cal.txt](#) . Pour finir, cliquer sur « use frequency response compensation ».



Frequency response compensation

On verra plus loin que d'autres paramètres vont influencer les mesures, et ceci de façon beaucoup plus spectaculaire que les différences observées d'un ECM-8000 à l'autre.

### 4. Mesure de l'impédance des haut-parleurs avec Limp

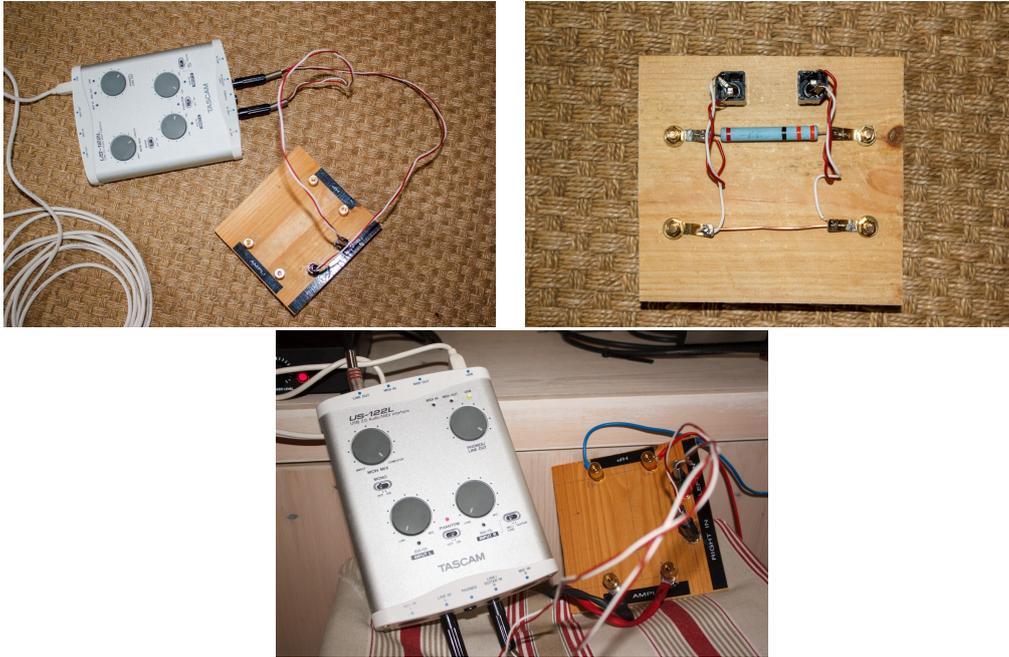
La mesure de l'impédance s'effectue avec le logiciel [LIMP](#). Il existe bien sûr d'autres méthodes, mais l'acquisition d'une licence ARTA donne accès à deux autres logiciels, LIMP et STEP. Comme ailleurs dans ce tutoriel, on se limitera aux fonctions essentielles du logiciel, indispensables pour la conception du filtre.

Notez ici qu'il faut absolument mesurer l'impédance des haut-parleurs, nus et chargés par un pavillon ou une enceinte, avant de commencer la conception du filtre. Les pavillons peuvent créer des courbes d'impédance torturées qu'il faudra corriger pour que le filtre fonctionne de manière optimale.

Tout d'abord, il faut fabriquer un petit outil, le « jig » ([le schéma est ici](#)). J'ai réalisé un exemple tout simple pour

ce tutorial (jusqu'à présent, j'utilisais un câblage en l'air). Pour résumer, d'un côté, on va brancher un des deux canaux (sortie) de l'amplificateur, et de l'autre côté, le haut-parleur que l'on veut mesurer. Entre les deux, on va raccorder deux points de mesure séparés par une résistance (ici, une MOX de 10 watts). La valeur est ici de 33 Ohms. Cette valeur doit être rentrée dans le paramétrage de LIMP (on verra plus tard).

Les points de mesures doivent être raccordés aux deux entrées ligne de la carte son. Le choix des connecteurs dépendra de la carte utilisée. Dans mon cas, des jack 6,35 mm. La carte doit être reliée au PC de mesure par le cordon USB, et au préampli par les sorties lignes.



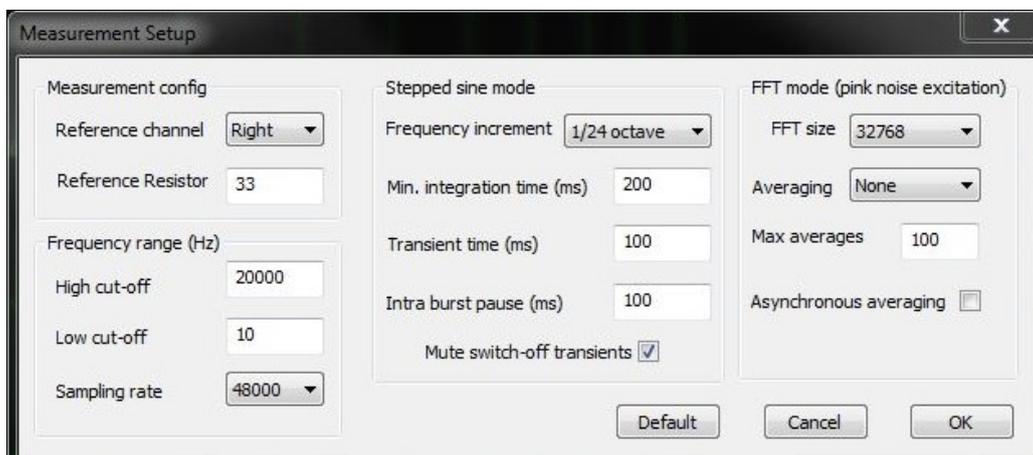
ATTENTION ! L'interface Tascam permet de mixer les entrées. Quand on utilise le micro, le potentiomètre « input L » est à fond vers la droite (ou quasiment). Quand on mesure l'impédance avec l'entrée ligne, il faut tourner les deux potentiomètres à fond vers la gauche, comme sur la photo. De même, ne laissez pas la prise du micro branchée pendant cette mesure (avec la Tascam, pour les autres, à vérifier).

Paramétrage de LIMP.

Tout d'abord Setup/audio devices pour vérifier que l'interface audio est bien reconnue

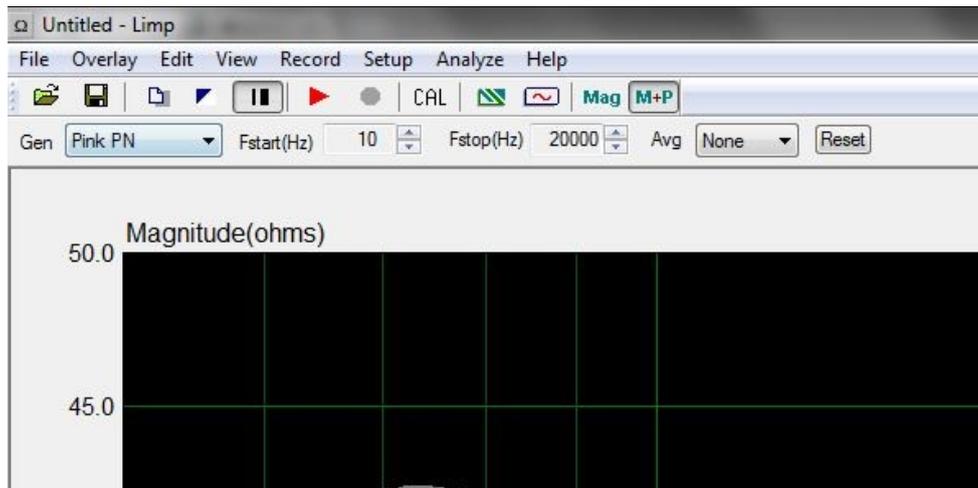


Ensuite, Setup/Measurement

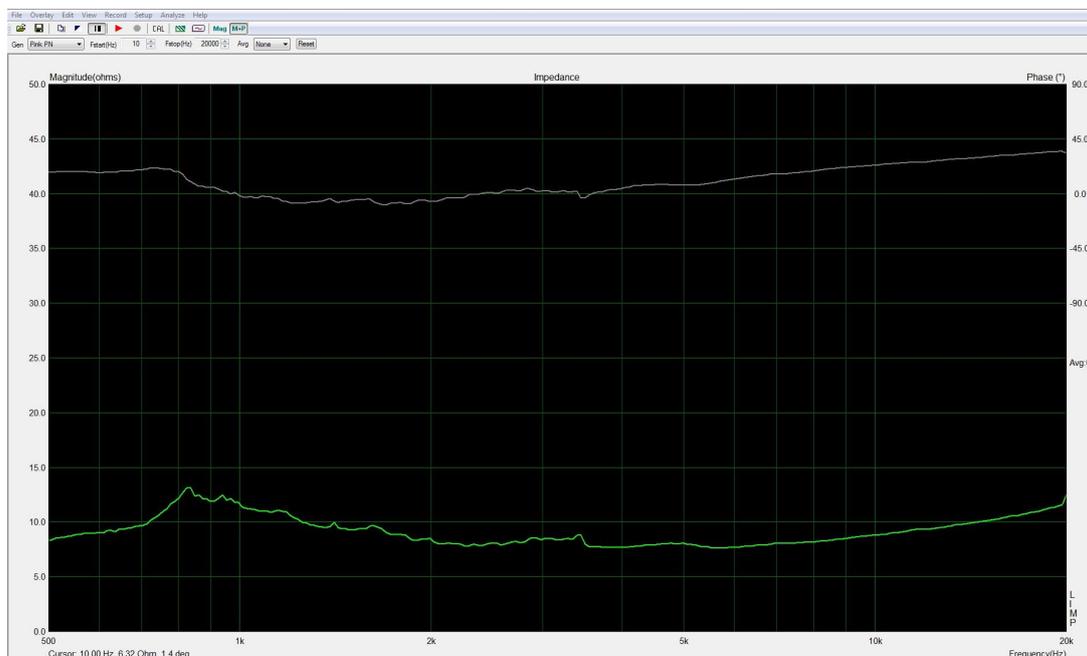


C'est là qu'il faut rentrer la valeur de la résistance utilisée dans le Jig. Il faut aussi rentrer le canal mesuré. Tel que branché sur mon exemple, il faut choisir le droit. On peut aussi réduire la plage de fréquence mesurée. Ici, je mesure de l'aigu, inutile de démarrer en dessous de 500 Hz.

Sous la barre de menu, on peut choisir (en haut à gauche) le signal utilisé pour la mesure (ici, bruit rose, plage de mesure et moyenne ou non).



Quand on est prêt, on clique sur le petit triangle rouge (On entend le bruit rose sortir du HP) et on obtient quelque chose comme ceci :



On arrête en cliquant sur le bouton rouge après quelques secondes.

Il faut sauvegarder les mesures. Par défaut, l'extension est « .lim ». Point important dans Speaker Workshop, il faut un fichier « .zma ». Donc File/Export « as plain ZMA file » et le tour est joué.

Notez bien que, tout au long du projet, vous devrez refaire ce genre de mesure. Si vous introduisez une correction d'impédance, par exemple, il faudra refaire la mesure pour vérifier le résultat (et éventuellement importer la courbe corrigée pour concevoir le filtre).

## 5. Mesure initiale de la réponse en fréquence de chaque HP

J'imagine que vous avez un micro, le pied qui va avec et une licence d'ARTA...

J'imagine aussi que vous avez un haut-parleur à mesurer...

Mon expérience me fait dire que le point le plus délicat de la mesure est la position du micro. A chaque fois qu'on déplace le micro, dans quelque dimension que ce soit, on peut obtenir une mesure différente. C'est d'autant plus sensible quand on veut mesurer des systèmes assez grands, comme les VOT (ou plus grands encore), les points émissifs de chaque haut-parleur étant éloignés. Notez que la référence (ici, face avant des pavillons et HP) est arbitraire et n'a donc pas d'importance, mais il faut toujours utiliser la même).



Pour caractériser un HP, on a en général intérêt à faire des mesures en champ proche, pour s'affranchir des réflexions. Par contre, pour calculer le filtre, je crois qu'il vaut mieux mesurer chaque HP depuis le point ou la mesure globale sera effectuée, donc entre 100 et 120 cm de l'enceinte, à un point médian des centres émissifs.

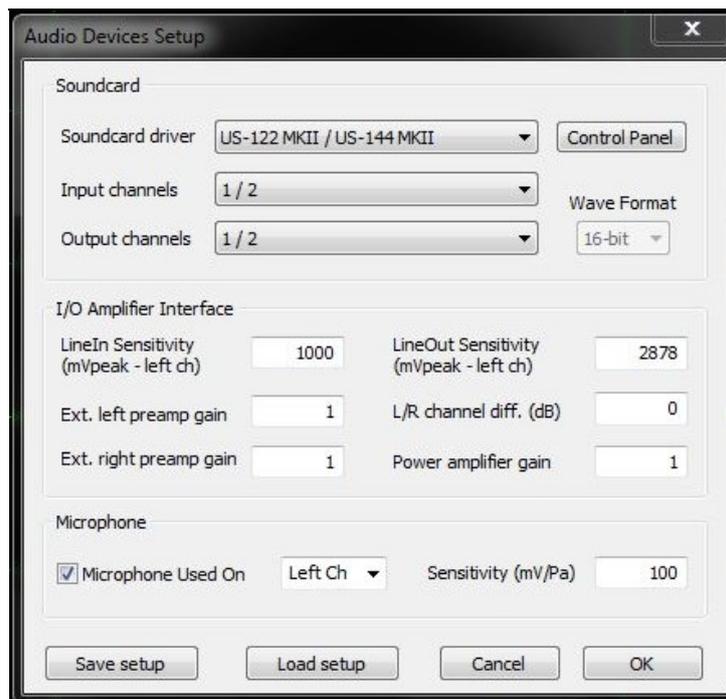
Avant de commencer, il faut que les deux ou les trois haut-parleurs soient déjà positionnés entre eux en prenant une référence commune. Je conseille de commencer, si possible, en alignant les compressions et la bobine du haut-parleur de grave (à ce stade, on ne cherche pas la précision absolue).

Je rappelle que cette mesure a pour but d'obtenir la courbe de réponse du haut-parleur dont nous avons mesuré l'impédance dans le message précédent. Cette mesure sera importée dans Speaker Workshop, avec la mesure d'impédance (fichier .zma) pour créer chaque haut-parleur dans la simulation.

Le micro doit-être en place et raccordé à l'interface. Attention, les réglages de l'interface doivent être adaptés. Sur la photo, vous voyez que le micro est branché sur l'entrée gauche, que l'alimentation fantôme est activée, que le potentiomètre réglant le niveau de l'entrée gauche est presque à fond côté micro. la petite diode verte permet de contrôler le volume d'entrée. Bien sûr, ceci peut être différent avec une autre interface. Si la mesure ne fonctionne pas comme prévu, il faut commencer par vérifier ces réglages...



Voici la fenêtre principale de ARTA à l'ouverture. Vous devez d'abord vérifier dans le menu « Setup/Audio Devices » que votre carte son est bien reconnue.



Nous allons travailler avec des « Impulse response » et je vous propose d'utiliser les mêmes paramètres que dans ma configuration (FFT : 256, IR Wind : Hann 50% et Sig Wing : Hanning). Ce tutoriel n'a pas pour but de vous expliquer les pourquoi et comment de ces choix. Vous aurez le temps de vous y intéresser plus tard...

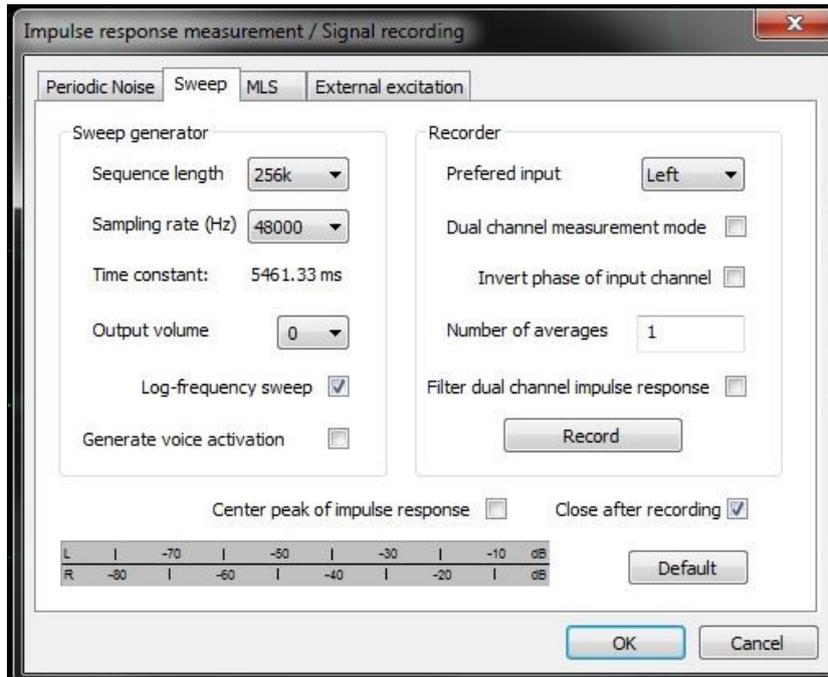


Tout est donc en place pour une première mesure. Bien sûr, n'oubliez pas de vérifier que vous n'avez qu'un seul

canal activé (balance à fond du côté mesuré ou entrée débranchée sur le canal muet).

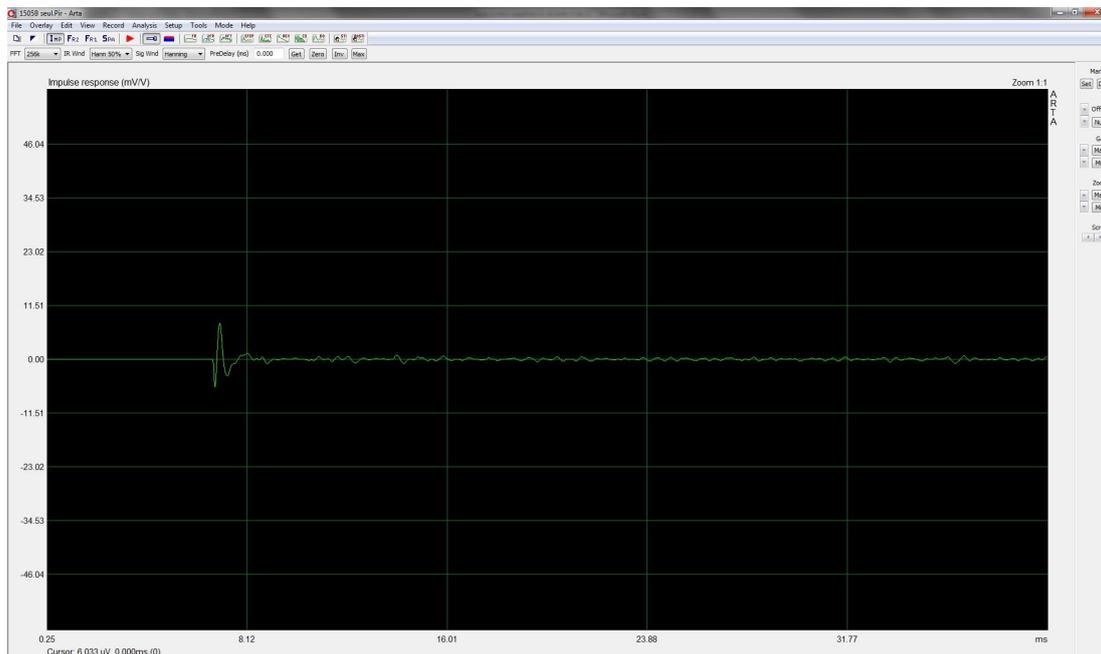
Ne branchez que le haut-parleur que vous souhaitez mesurer et n'oubliez pas de débrancher le subwoofer si vous en avez un.

Vous pouvez cliquer sur le triangle rouge. Une fenêtre s'ouvre. Avant de cliquer sur « Record », activez la case à cocher « Center peak of impulse response ».



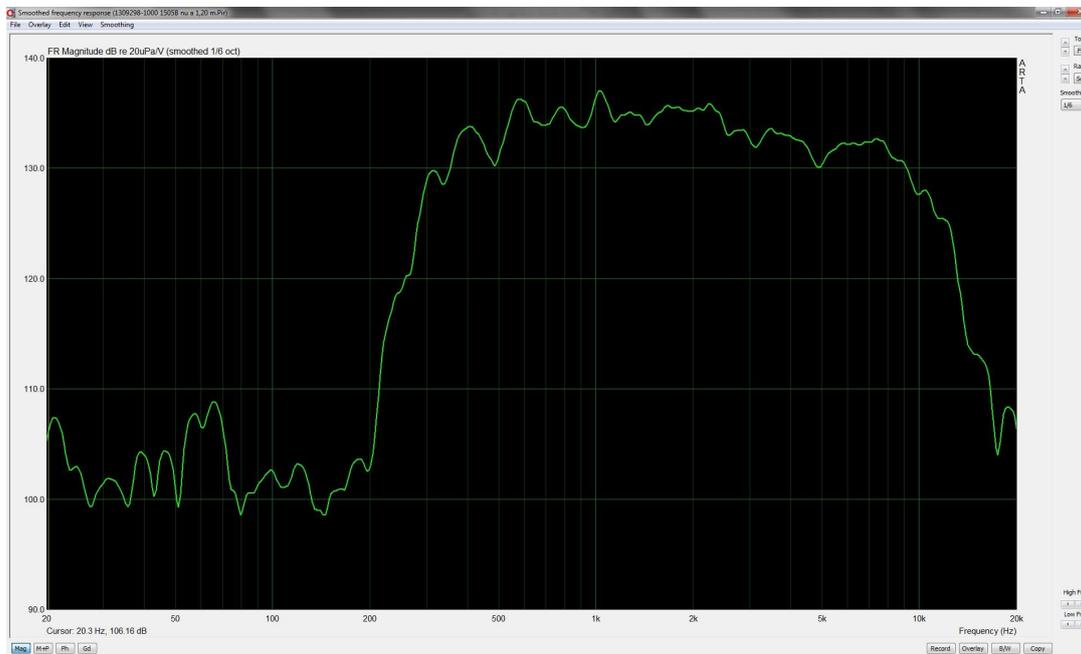
Cliquez ensuite sur « Record ».

Le volume du signal devra peut-être être ajusté avec le bouton de volume du préampli. Quand le signal s'éteint, votre fenêtre devrait ressembler à ceci :

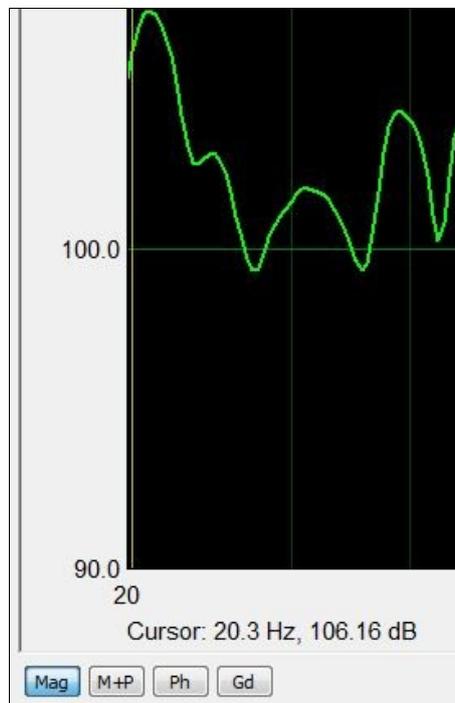


Nous n'allons pas analyser la mesure dans ce message, mais juste l'exporter pour utilisation future dans Speaker Workshop. Nous reviendrons sur l'analyse dans le prochain message.

Cliquez sur le bouton « FR » situé sous la barre de menu. Vous devriez voir une nouvelle fenêtre apparaître :



En bas à gauche de cette fenêtre, repérez la suite de boutons :  
Cliquez sur le bouton « M+P ».



Ouvrez le menu "File/export/ascii file". La fenêtre suivante apparaît :



Cliquez sur OK et sauvegardez le fichier FRD avec le fichier ZMA de la mesure d'impédance.

Le format natif d'un fichier de mesure fait avec ARTA est le fichier avec extension .PIR. Je vous conseille de sauvegarder un deuxième fichier avec cette extension.

## 6. Comment choisir son type de filtre

## Choix du filtre pour enceintes HR avec pavillons

Le titre restreint le sujet volontairement aux systèmes HR avec pavillons.

Avant toute chose, s'assurer que les fiches constructeurs des HP's indiquent qu'ils pourraient être "mariés" ensembles. Leurs courbes de réponses, niveau de distorsion ainsi que leurs dispositions les uns par rapport aux autres, l'alignement, seront des éléments de base. Pour les pavillons profonds l'alignement peut devenir difficile voir impossible en filtrage passif sans y avoir bien réfléchi au préalable.

## Choix du filtre théorique

Dans tous les cas et enfin d'éviter de la distorsion d'intermodulation ou une directivité prononcée du pavillon aux hautes fréquences, une bande de travail optimale, bien à l'intérieure de la réponse de chaque HP, est à respecter.

Quelques types de filtres théoriques qui donnent de bons résultats parmi d'autres ( correctif Jimbee).

## Le 6 db par octave

Réponse en tension droite et centrée sur 0 db.

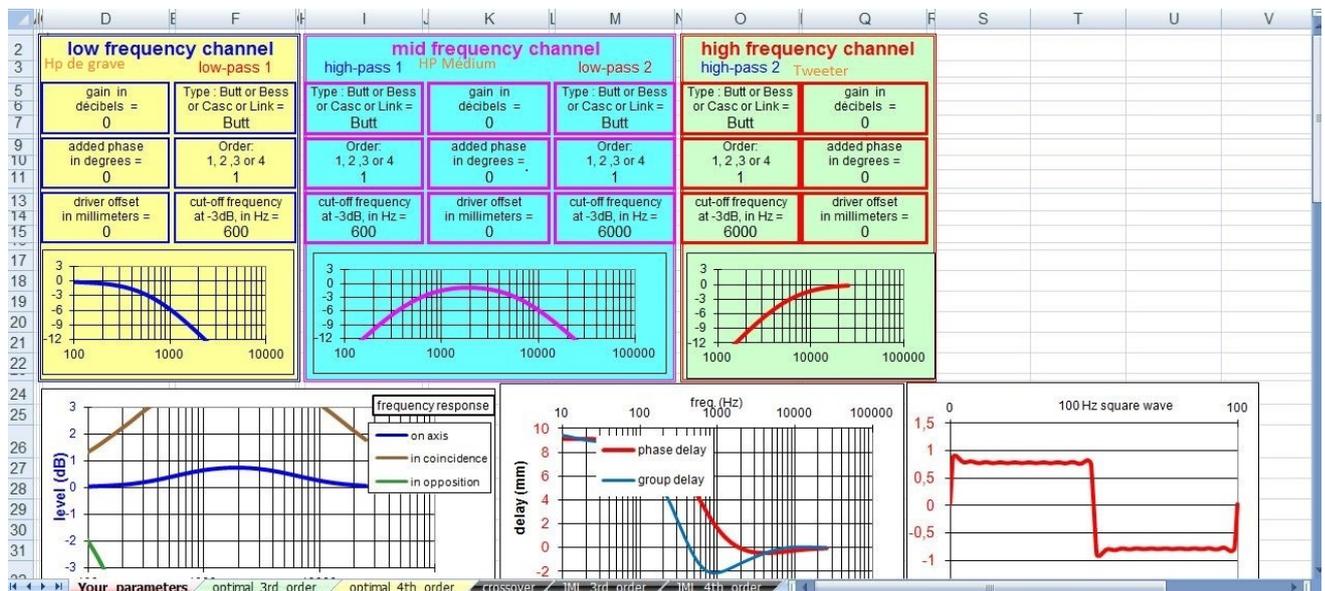
Réponse en coïncidence + 3 db à la fréquence de coupure.

Courbe de Phase droite et centrée sur 0°.

Courbe de groupe délais droite et centrée sur 0 mms.

Signaux carrés parfaits ( carrés).

Attention, la faible pente qui, si les HP's ne sont pas coupés bien à l'intérieur dans leurs zones de travail, peut provoquer de la distorsion, THD et de la distorsion d'intermodulation, IMD.



## Les filtres quasi-optimaux

Correctif MARCO GEA

3rd order Butterworth Low Pass, -3dB @  $F_x \cdot 0.87$  (+)

3rd order Butterworth High Pass, -3dB @  $F_x \cdot 1.15$  (-)

Offset =  $0.22 \cdot c / F_x$

4th order L-R Low Pass, -6dB @  $F_x$  (+)

3rd order Bessel High Pass, -3dB @  $F_x \cdot 1.4$  (-)

Offset =  $0.29 \cdot c / F_x$

4th order Butterworth Low Pass, -3dB @  $F_x \cdot 0.93$  (+)

4th order L-R High Pass, -6dB @  $F_x \cdot 0.93$  (-)

Offset =  $0.31 \cdot c / F_x$

6th order Bessel Low Pass, -6dB @  $F_x \cdot 1.25$  (+)

2nd order Butterworth High Pass, -3dB @  $F_x \cdot 1.3$  (-)

Offset =  $0.40 \cdot c / F_x$

6th order L-R Low Pass, -6dB @  $F_x \cdot 1.06$  (+)

3rd order Butterworth High Pass, -3dB @  $F_x \cdot 1.13$  (-)

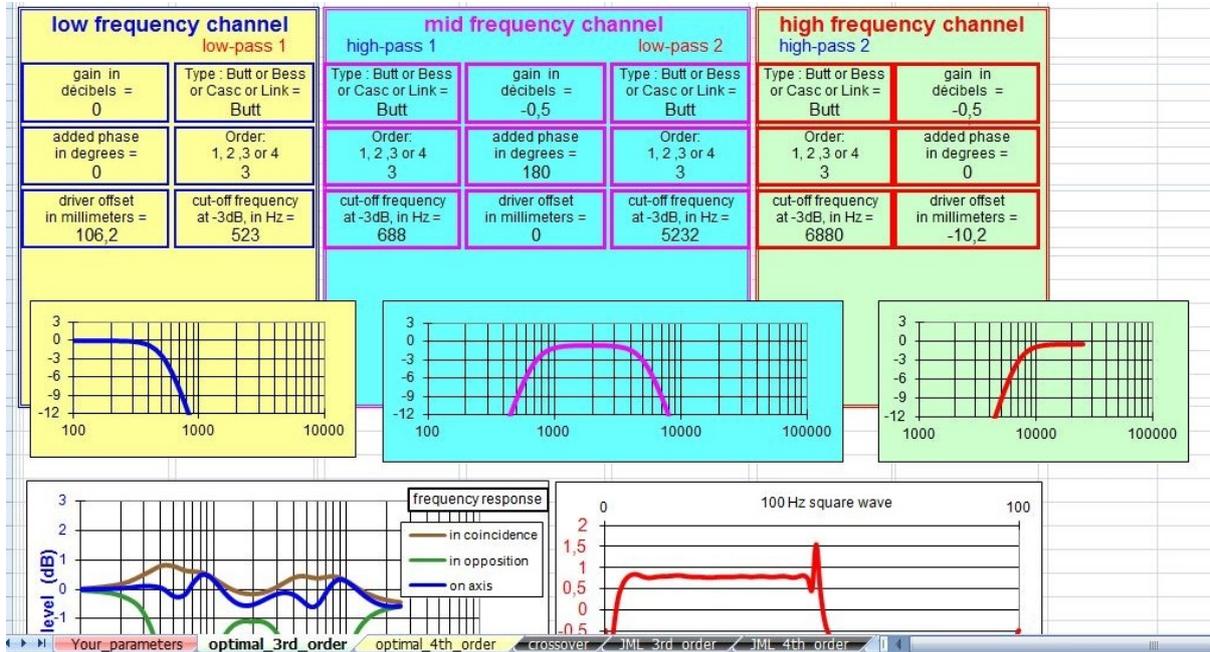
Offset =  $0.445 \cdot c / F_x$

6th order L-R Low Pass, -6dB @  $F_x \cdot 1.07$  (+)

4th order L-R High Pass, -6dB @ Fx \* 0.92 (-)  
 Offset = 0.465 c/Fx

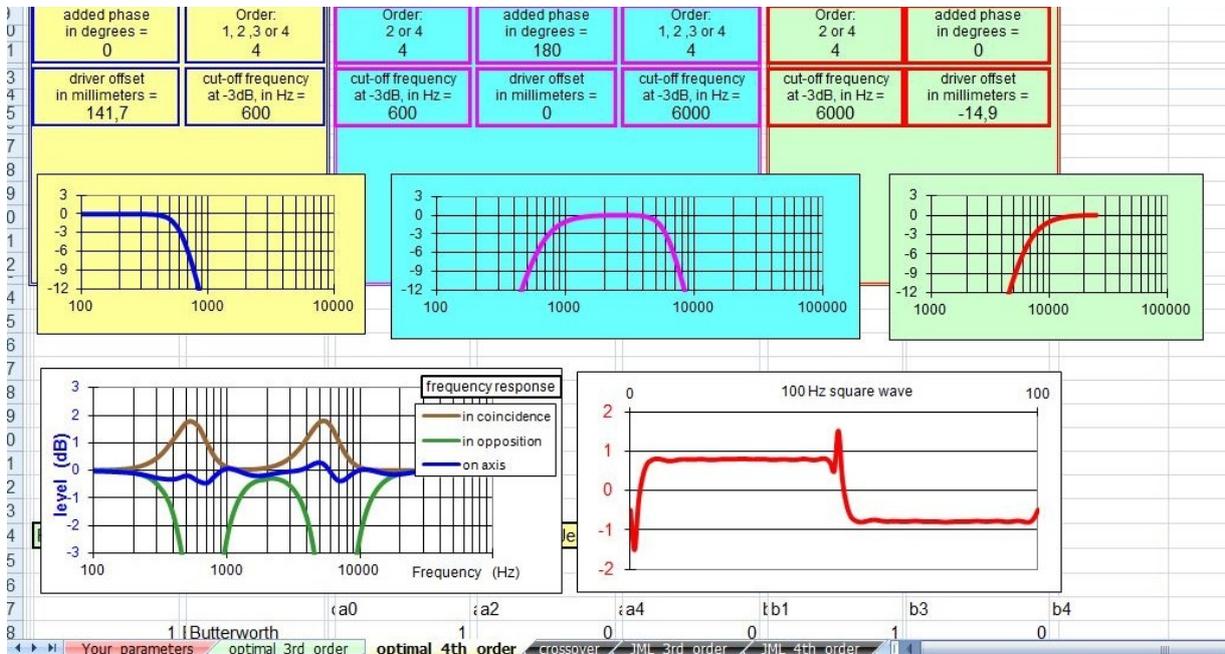
### Le 18 db JLMC ( premier de la liste )

Il se comporte de moins bonne façon que le 6 db, mais tous les paramètres sont très acceptables. Sa pente, beaucoup plus forte et le décalage des fréquences de coupures, permettent de se rapprocher des extrémités de la bande de travail de chaque HP et l'avance du HP de grave réduit la distance d'alignement du pavillon bas médium ou médium.



### Le 24 dB JLMC ( troisième de la liste )

Mêmes observations que le filtre précédant mais avec une avance du grave encore plus importante ce qui peut être intéressant pour les pavillons très profond ( correctif Jimbee ). Bien sûr, il a une pente plus forte qui peut être utile dans certains cas.



### Le LR 36 dB / 24 dB MARCO GEA ( dernier de la liste )

Correctif Jimbee du 19/10/2013.

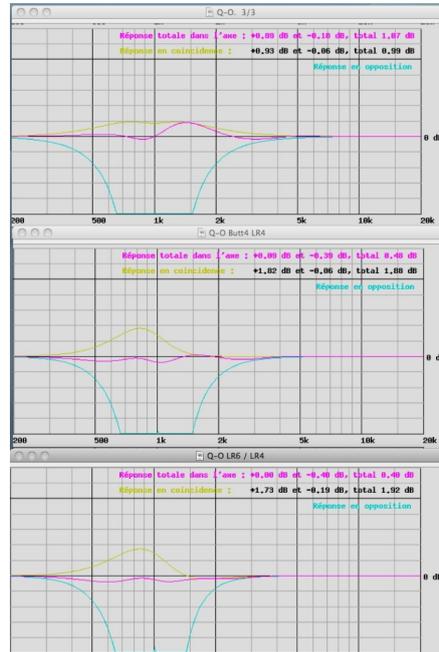
C'est la recherche d'une avance du HP de grave plus importante qui a conduit à l'aboutissement de ce filtre aux caractéristiques proches des 2 autres filtres optimaux mais avec une avance de HP de grave encore plus importante. Il sera encore plus intéressant pour couper les pavillons bas médium / médium très profonds.

Pour les personnes intéressées, le thread ou est traité le sujet : <http://www.diyaudio.com/forums/multi-way...tem-6.html>

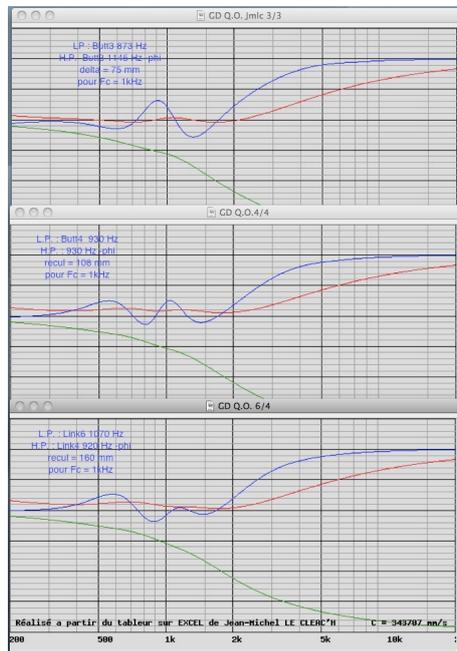
Une vue des caractéristiques de ces 3 filtres optimaux à 1000 Hz.

Correctif Jimbee du 19/10/2013

Réponse dans l'axe et en coïncidence.



Courbe de groupe délais des filtres correspondants.  
L'exactitude des courbes de GD est valide au-dessus de 300 Hz.



Les paramètres mesurés de chaque HP, vous indiquent où les fréquences de coupures pourraient être positionnées.

Dans l'ordre.

La courbe de groupe délais.

Globalement, la portion utile des HP's médium et aigu est celle qui est droite ou à + ou - 0,3 ms par rapport au point 0.

Pour le HP de grave qui travaille en piston jusqu'à 300 Hz environ, nous faisons bien souvent avec les possibilités du HP de médium.

La courbe de phase ( minimum phase ).

La plus droite possible centrée sur 0°.

La distorsion ( THD).

Même chose, toute remontée de la courbe de THD est à éviter.

La courbe de réponse

Pour le HP de grave, il y a plus d'incidents ponctuels très restreints dont nous ne tiendrons pas compte, par contre une baisse ou hausse de niveau significative sur une bande plus large sera à prendre en compte.

Pour les Pavillons et compressions médium et aigu, il est nécessaire de corrélérer la courbe d'impédance à la courbe de réponse. Un incident au milieu de la zone de travail ou une bosse ( dôme ) pourront être corrigés par le filtre passif.

Une fois les fréquences de coupures choisies, il reste à vérifier l'interaction de ces fréquences de coupures les unes par rapport aux autres et le choix du type de filtre théorique.

La feuille de calcul de Jean-Michel Le Cléac'h ou le site de Dominique PETOIN permettent de simuler les paramètres des filtres et l'interaction des filtres les uns par rapport autres.

Cette feuille est très simple d'utilisation. [filtre\\_alignement\\_synthese.zip](#)

Dans l'onglet « your parameter » et en présumant que l'alignement théorique est parfait ( à voir plus tard ) on rentre dans les cases :

**Type** : le type de filtre

**Order** : 1,2,3,4 pour les pentes respectives de 6db, 12 db, 18db et 24 db.

**Cut off frequency** : votre fréquence de coupure théorique entre les 2 HP's.

Donc la même pour le HP de grave et la fréquence de coupure basse du médium et idem pour la fréquence de coupure haute du médium et celle du tweeter.

Les différents résultats du filtre s'affichent :

Au début de ce résumé et dans le paragraphe, le filtre 6 db est décrit les résultats vers lesquels on doit tendre.

Pour un filtre 18 db JLMC et pour les paramètres que vous venez de saisir dans « your parameters » il suffit de cliquer sur l'onglet Optimal\_3rd\_order en bas à gauche de la feuille Excel.

### Le Hp de grave

La fréquence de coupure est décalée vers le bas par rapport à la fréquence théorique.

Added phase = 0 le hautparleur est en phase.

Driver offset = 106,2 mm = le haut parleur de basse doit être avancé vers l'auditeur de cette valeur par rapport à l'alignement théorique 0 pdes Hp's de grave et médium.

### Le Hp médium

Sa fréquence de coupure basse est plus haute que celle théorique.

Added phase = 180 ° le haut parleur est en opposition de phase + et - inversé.

Gain = -0,5 db = sa courbe de réponse est abaissée de 0,5 décibels / au HP de grave.

Sa fréquence de coupure haute est plus basse que celle théorique.

### Le tweeter

Sa fréquence de coupure basse est plus haute que celle théorique.

Added phase = 0 le hautparleur est en phase.

Gain = -0,5 db = sa courbe de réponse est abaissée de 0,5 décibels / au HP de médium.

Driver offset - 10,2 mm = le tweeter doit être reculé par rapport à l'auditeur de cette valeur par rapport à l'alignement théorique 0 des Hp's médium et tweeter.

La visualisation du filtre 24 db JLMC se fait de la même façon en cliquant sur l'onglet « optimal\_4TH\_order » en bas gauche de la feuille Excel.

En jouant simplement sur les espacements des fréquences de coupures, les courbes de réponses en coïncidence et dans l'axe peuvent s'améliorer fortement ou vis et versa.

Vous pouvez consulter ou utiliser le simulateur dérivé de cette feuille ( plus complet ) sur le site de Dominique PETOIN :

<http://petoindominique.fr/php/filtre.php>

## 7. Mesure du délai de groupe de chaque HP pour établir les fréquences de coupure

## L'analyse du délai de groupe (Group Delay ou GD en anglais)

Cette analyse est un élément fondamental pour guider votre choix d'une fréquence de coupure basse d'un ensemble moteur pavillon. Je ne sais pas dire si ce point est de même importance dans le cas d'un haut-parleur à membrane...

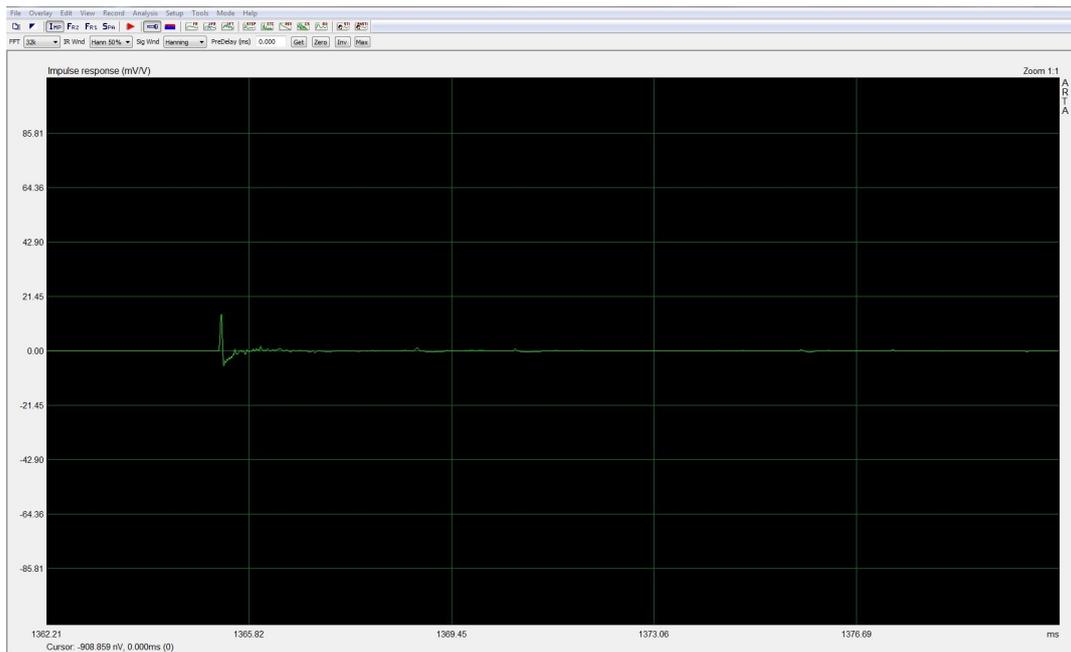
Jean-Michel Le Cleac'h a mis en évidence, grâce aux nombreuses mesures qu'il a effectué sur des ensembles moteur pavillon, de l'importance de prendre en compte ce phénomène.

Pour simplifier, on peut dire qu'il est difficile d'obtenir un bon raccordement du filtre à la fréquence de coupure si on décide de couper dans une zone où le délai de groupe dépasse 0,3 ms. Il y a bien sûr des tolérances et des exceptions, et il y a sans doute des situations où un GD de 0,5 ms sera acceptable...

Pour illustrer, je vais utiliser un fichier PIR ([TH4001-TD4001+condo\\_50uF.pir](#)) résultant d'une mesure faite récemment par Dominique (Conflans). C'est la courbe de réponse d'un excellent couple TH4001/TD4001. Le moteur n'est pas filtré, mais juste protégé par un condensateur de 50 uF je crois.

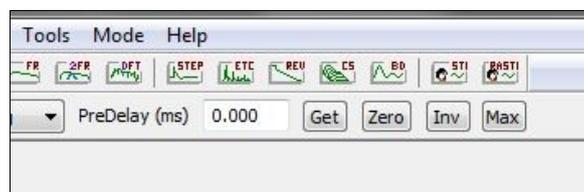
J'attache le fichier en pièce jointe pour que vous puissiez faire l'analyse vous-mêmes (merci Dominique).

Ouvrez ARTA, puis « file/open » et sélectionnez le fichier. Vous devriez voir ceci s'afficher à l'écran :

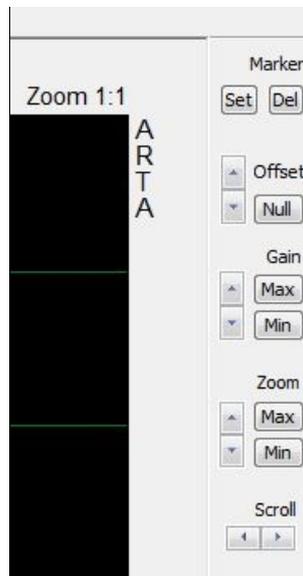


Nous allons procéder au fenêtrage de l'impulsion. Pour simplifier, le fenêtrage permet de s'affranchir des réflexions de la pièce où on a effectué la mesure.

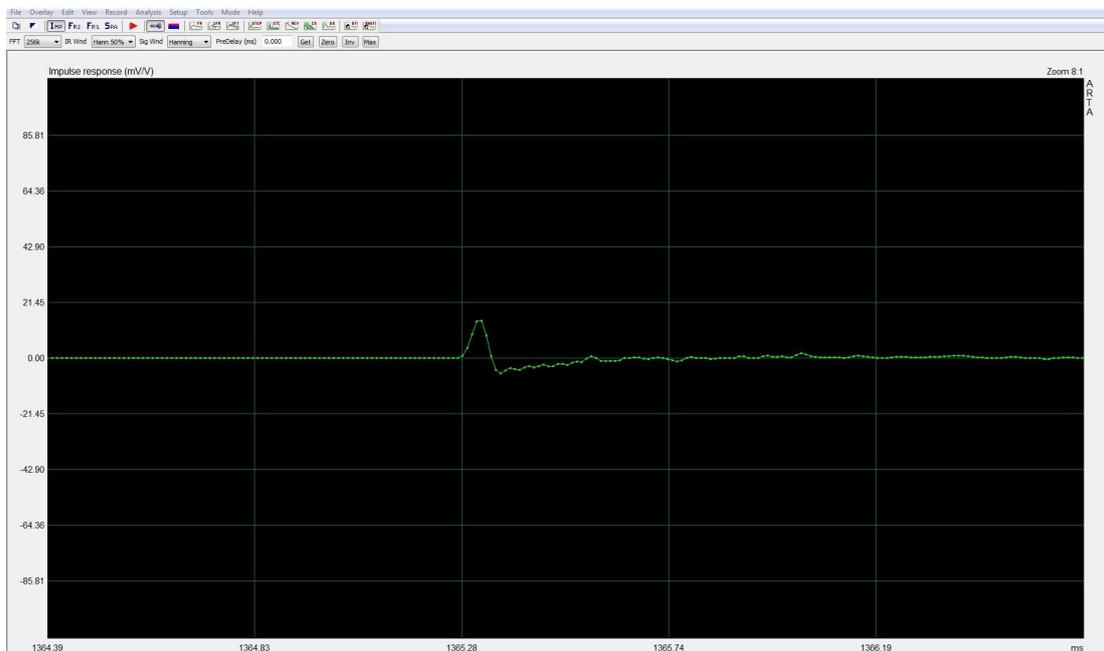
Tout d'abord, vérifier que le pic le plus important de l'impulsion est orienté vers le haut. Sinon, cliquez sur le bouton « INV ».



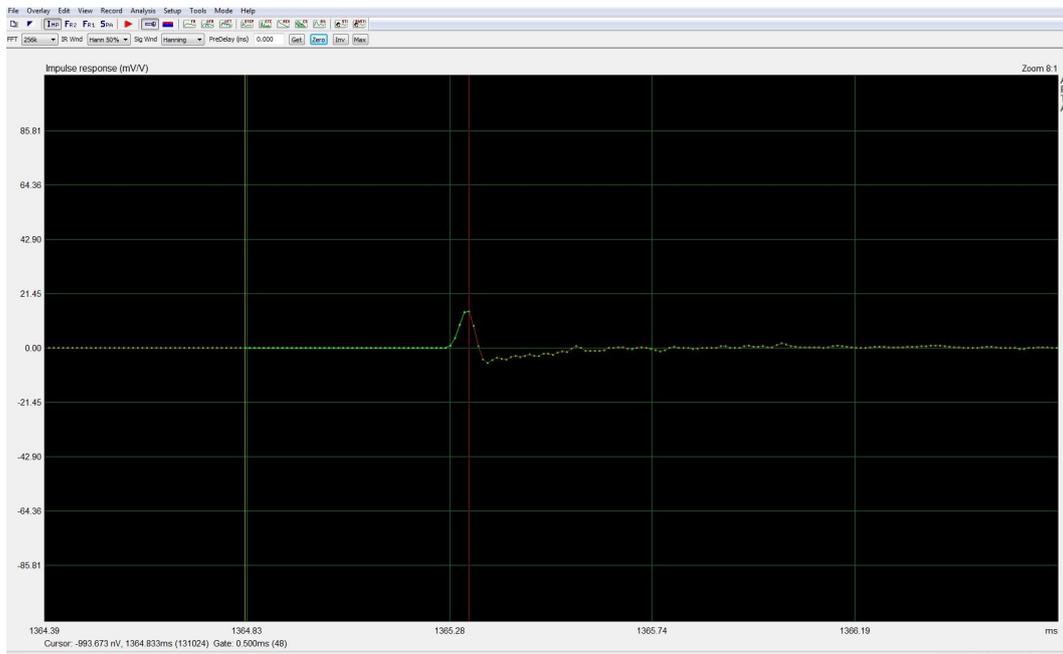
Utilisez le zoom pour augmenter la taille de l'impulsion. Le bouton zoom est à droite de l'écran. Au fur et à mesure que vous zoomez, l'impulsion se décale vers la droite, et va finir par disparaître. Le bouton « scroll » vous permet de la recentrer. Vous pouvez aussi faire défiler la fenêtre « scroll » en cliquant avec la souris sur l'échelle de temps, en bas de l'écran, et en déplaçant la souris en maintenant le bouton appuyé vers la gauche ou la droite. Autre méthode plus rapide indiquée par Gilles (Gillesni), zoomez au maximum de manière à faire apparaître les points sur la courbe, puis cliquez sur le bouton "MAX" situé en haut de l'écran, à côté de "INV". Le curseur jaune se positionnera sur l'impulsion.



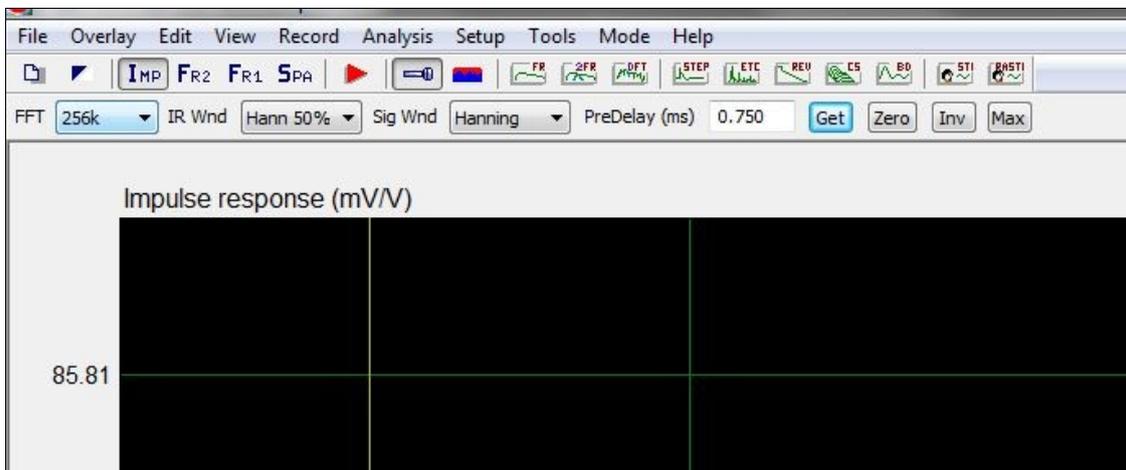
Voici l'image de l'impulsion grossie et centrée :



Nous allons maintenant utiliser les deux boutons de la souris pour réaliser le fenêtrage. La première étape consiste à établir le pré-décal. Pour cela, cliquez avec le bouton droit sur le point représentant le sommet de l'impulsion. Un curseur rouge apparaît. C'est la limite droite de la fenêtre. Cliquez avec le bouton de gauche à environ 5 cm à gauche du curseur rouge. Un curseur jaune apparaît, c'est la limite gauche de la fenêtre. En bas de l'écran, vous voyez apparaître la taille de la fenêtre : 0,5 ms dans mon cas :



Faites glisser votre curseur jaune vers la gauche (ou la droite) pour obtenir une valeur d'environ 0,750 ms. Ensuite, cliquez sur le bouton « GET » qui est sous la barre de menu :



La valeur s'affiche alors dans la fenêtre de pré délai.

Dans le menu « VIEW » sélectionnez l'option « Gate Time ». Réduisez un peu la valeur de zoom.

### Ne touchez plus au bouton gauche de la souris !

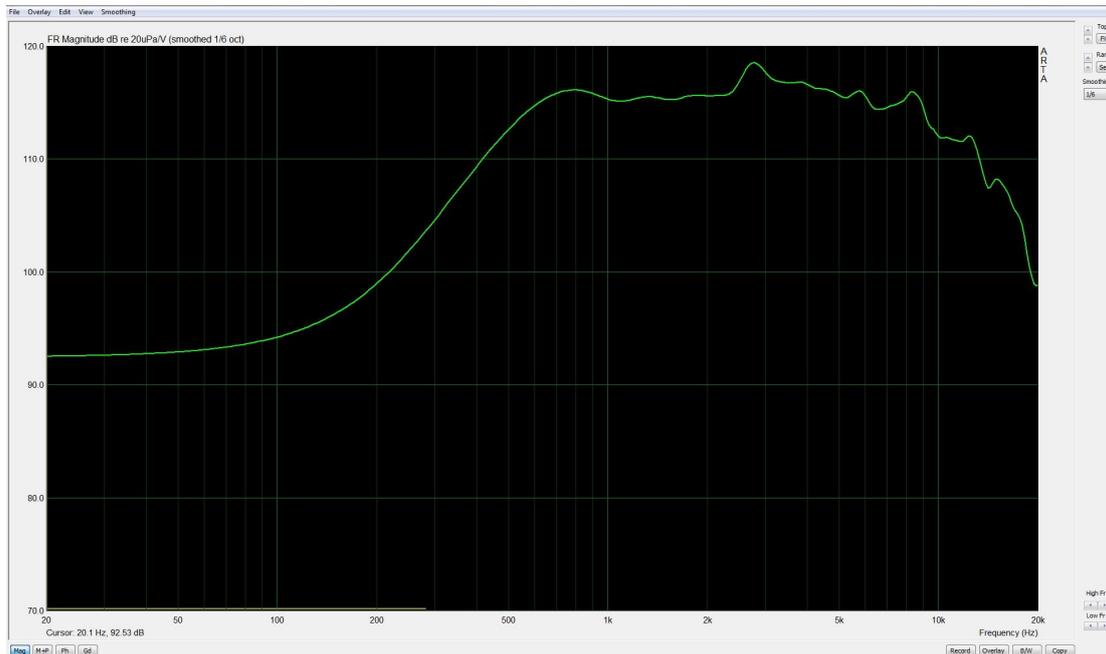
Avec le bouton droit, faites glisser le curseur rouge vers la droite tout en lisant la valeur de la fenêtre en bas de l'écran. Cette valeur s'affiche maintenant en cm, choisissez une distance correspondant à peu près à la distance du micro à l'enceinte.



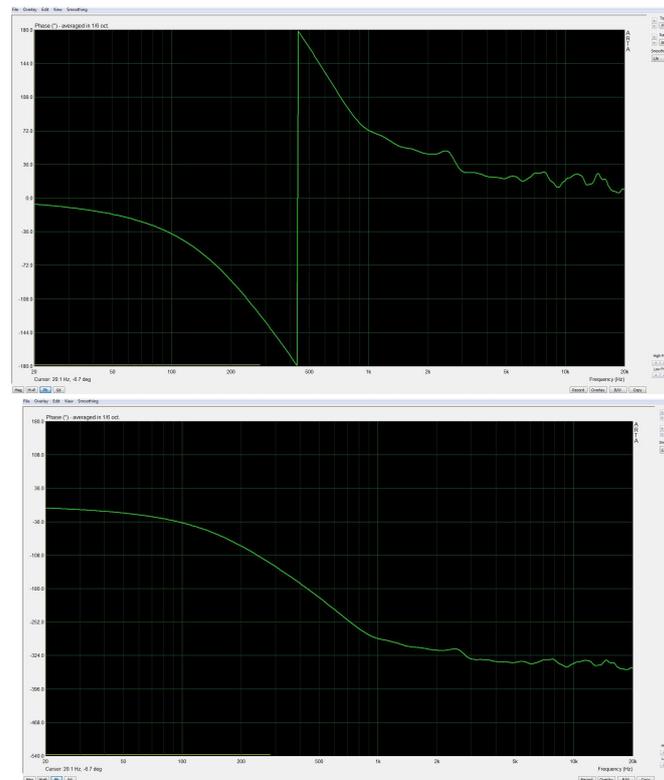
Cliquez sur le bouton « FR »



La belle courbe de Dominique s'affiche...



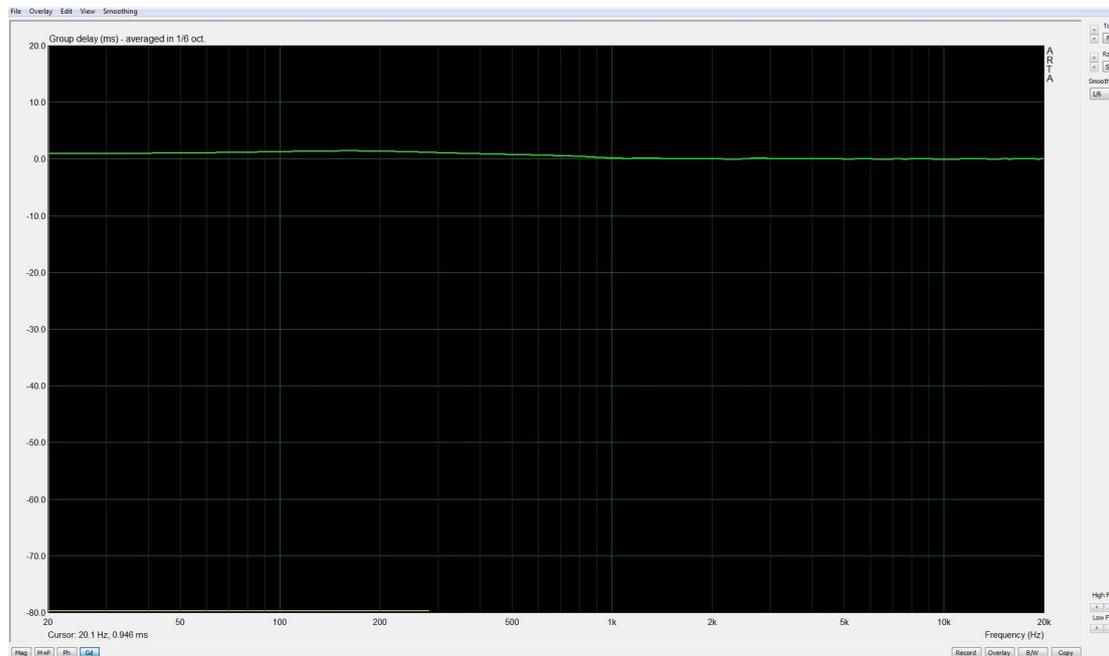
Cliquez sur le bouton « PH » en bas de l'écran (phase). Ouvrez le menu « View » et activez l'option « unwrap phase » (déplieement de la phase).



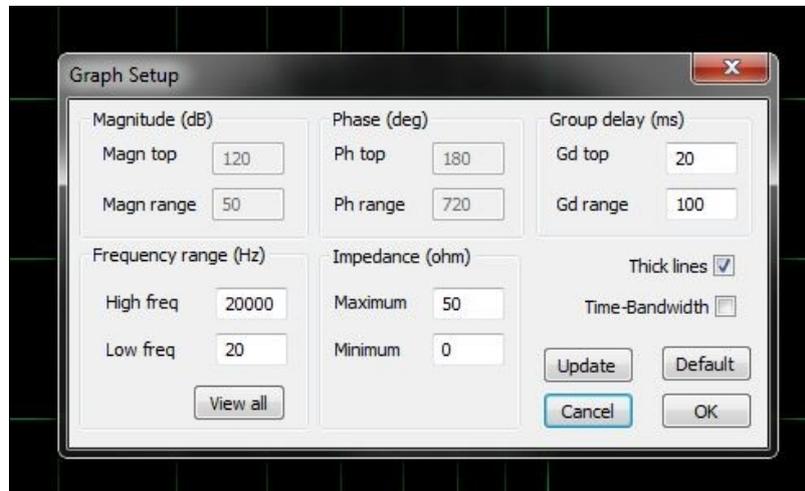
Une fois la phase dépliée, elle disparaît en partie de l'écran. Il faut utiliser les flèches (ici vers le haut) du contrôle « RANGE » qui est situé en haut à droite pour adapter l'échelle à l'écran.

On voit déjà que la phase est relativement rectiligne après 1000 Hz, mais remonte en dessous. On peut ajuster la position du curseur jaune pour ajuster l'horizontalité de la phase dans les aigus.

Passons maintenant à la dernière vue, le délai de groupe. Cliquez sur le bouton GD (en bas à gauche). A première vue, on obtient une belle ligne horizontale. Refrénez votre enthousiasme ! L'échelle n'est pas adaptée...

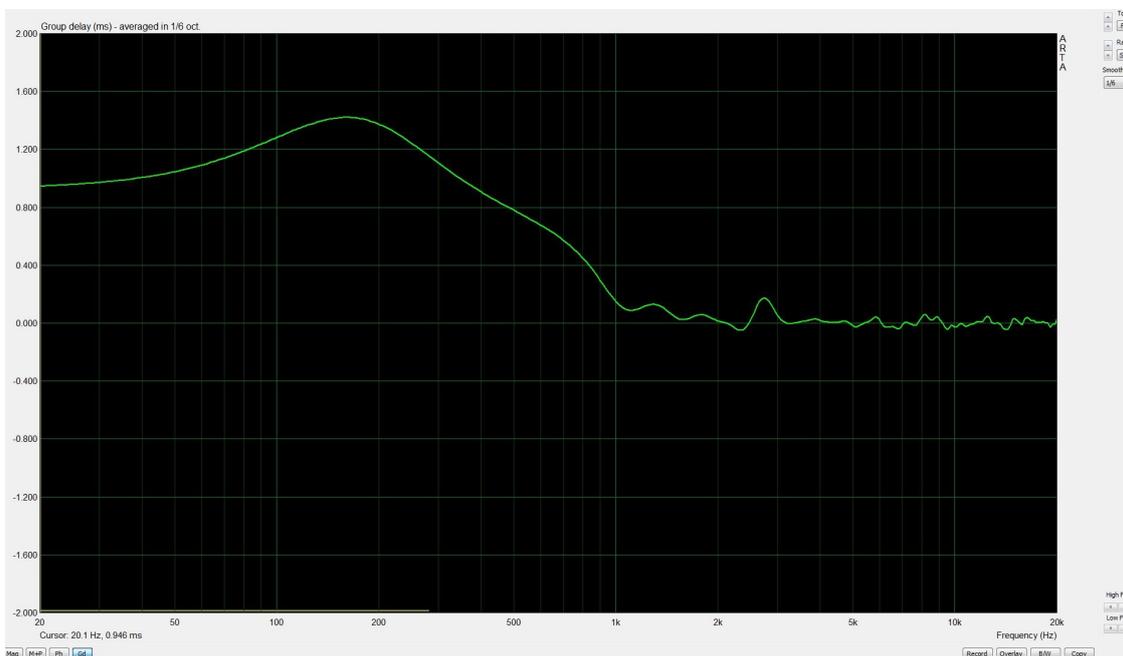


Positionnez le curseur de la souris à gauche, au-dessus de l'échelle verticale. Cliquez sur le bouton de droite. Ce menu apparaît :



En haut à droite, entrez les valeurs suivantes : GD top : 2 – GD range : 4

Le graphique est actualisé :



Que peut-on lire ici ? Eh bien, que le délai de groupe augmente à partir de 1000 Hz pour atteindre déjà 0.458 ms à 800 Hz (positionnez votre curseur jaune au-dessus de 800 et lisez la valeur en bas de la fenêtre. La courbe de réponse nous donne pourtant l'impression qu'on pourrait faire travailler ce couple moteur pavillon plus bas, mais le délai de groupe nous indique qu'il sera sans doute préférable de ne pas couper en dessous de 800 Hz.

J'espère que vous suivez car je vous trouve bien silencieux et, j'en vois, au fond de la salle, qui semblent roupiller un peu... Smile

## 8. Importation des fichiers d'impédance et de fréquence dans SpeakerWorkshop (SPW)

**Speaker Workshop** Freeware disponible [ici](#))

Nous sommes arrivés à une étape importante, et nous allons faire nos premiers pas avec Speaker Workshop (SPW). Le texte qui suit a été rédigé par Anaël (Nashorn), que je remercie pour sa contribution. J'ai inséré des captures d'écran pour illustrer et je joins les fichiers pris en exemple pour que vous puissiez évaluer le logiciel. J'ai apporté ici ou là des modifications mineures. J'espère que Anaël ne m'en voudra pas Smile

N'oubliez pas, vos commentaires et questions sont bienvenus dans le [fil prévu à cet effet](#) !

Afin de pouvoir calculer un filtre qui convienne comme solution de filtrage, il faut d'abord vous être assuré que votre fréquence cible convienne parfaitement aux HPs que vous utilisez (voir la section filtre de EBA).

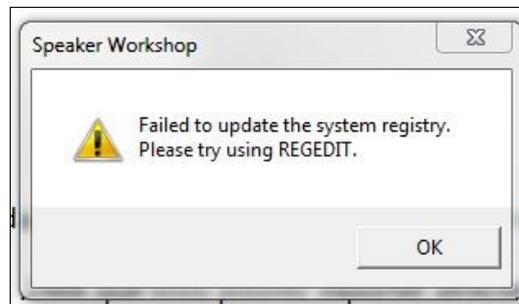
### 1°) Import de courbes d'impédance et de réponse fréquence fenêtrée (rappel message précédant)

Se caractérisant par un fichier .ZMA que vous pouvez exporter directement d'Arta et d'un fichier .FRD qui doit être dérivé de la manière suivante pour de bonnes perspectives de simulation:

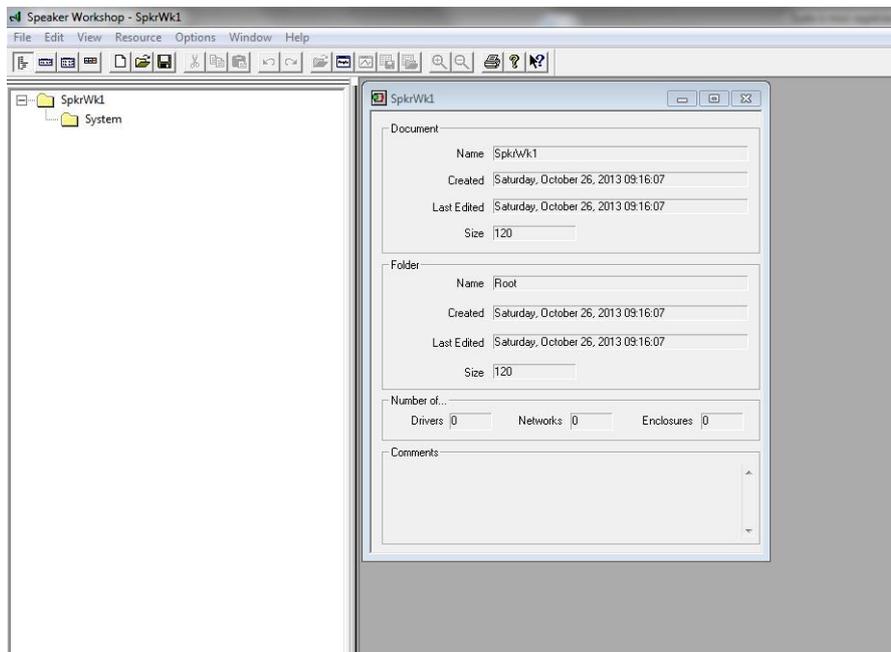
- Sur l'impulse d'ARTA, estimez un pre-delay suffisant dument renseigné dans la fenêtre principale, avant de fenêtrer correctement (en général un chouia plus que votre distance de mesure); cliquez ensuite sur "FR", affichage MAG+PHASE, lissage au 1/6 octave suffisamment précis dans 90% des cas. Ensuite cliquez sur "Exporter" -> ASCII file -> « OK pour plain FRD format ».

Pour ce tutoriel, placez sur le bureau du PC les deux fichiers (ZMA et FRD) attachés.

Premier lancement de SPW :

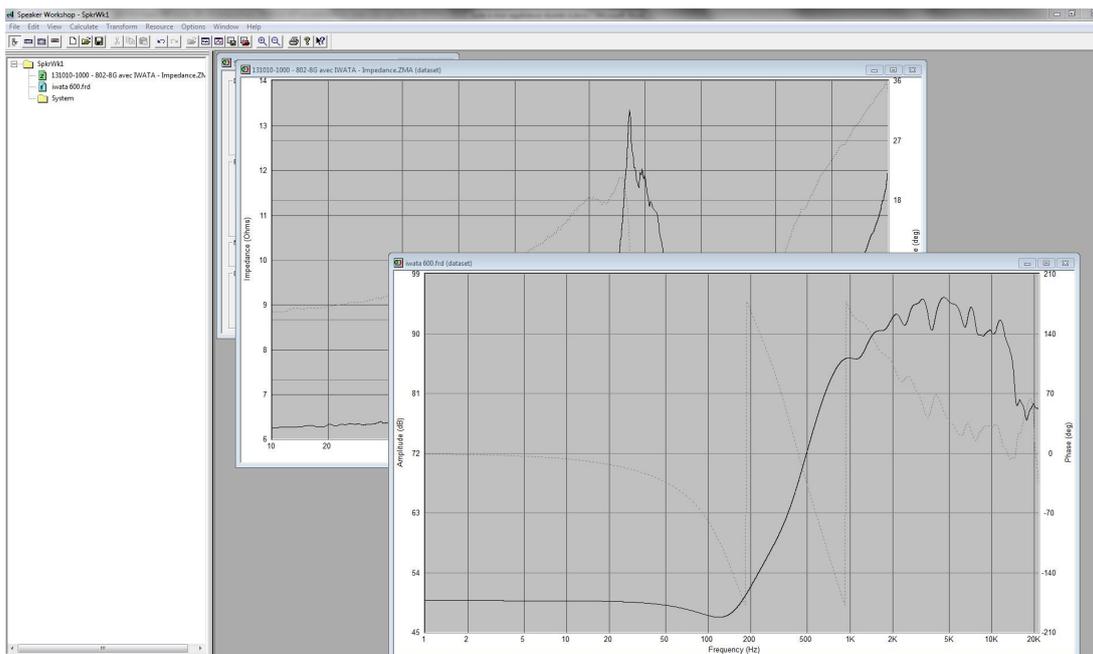


Ne soyez pas surpris si vous avez ce message d'erreur (avec Windows 7). Cliquez sur OK. La fenêtre principale va s'ouvrir :



La fenêtre est séparée en deux parties.

Dans SPW, faire "Ressource" -> "Importer" puis dans la fenêtre vous pourrez choisir votre ZMA (changer l'extension dans "type de fichier" pour avoir les bons paramètres à chaque fois pour les importations). Une fois le ZMA et le FRD importés, ils apparaissent dans la colonne de gauche, double-cliquez sur chaque afin de vous assurer de la validité de leur affichage et qu'ils correspondent bien aux fichiers exportés de LIMP ou ARTA.

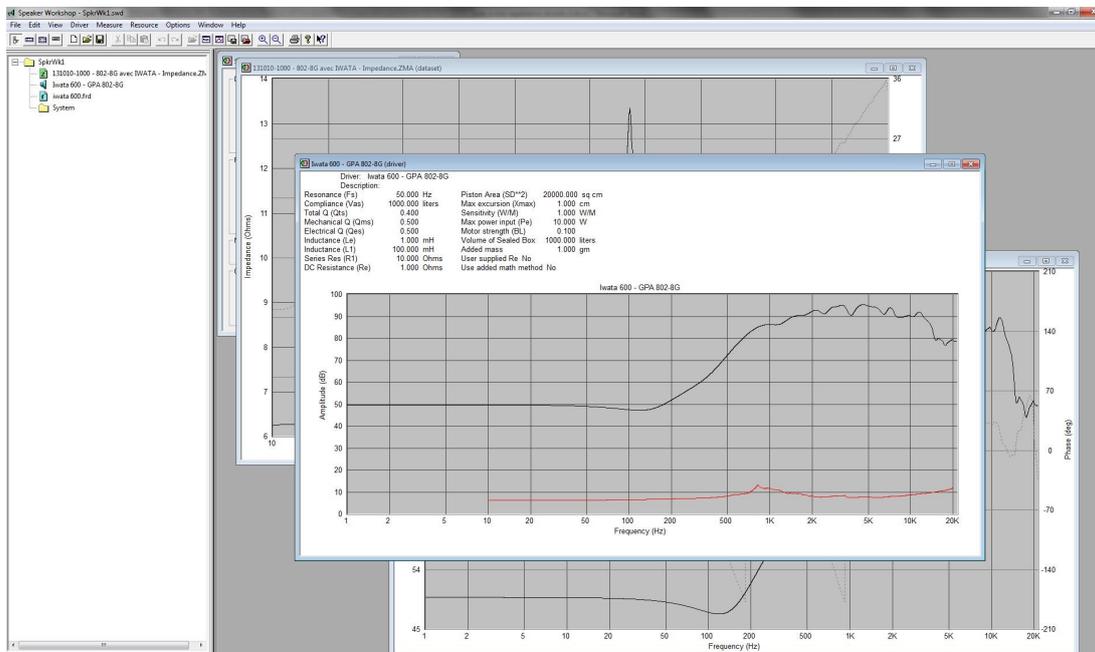


## <2°) Création du modèle de HP dans SPW

Nous allons maintenant créer le HP correspondant aux courbes relevées d'impédance et de Mag+phase; Positionnez la souris au-dessus de SpkrWk1, au sommet de l'arborescence, clic droit puis, "Nouveau" puis "haut-parleur", nommez le dans la fenêtre puis « OK ».

Une nouvelle fenêtre va s'ouvrir avec le nom du HP choisi par vos soins.

En clic droit sur cette fenêtre, "Propriétés" puis sur le dernier onglet "Données", vous renseignez le chemin au fichier .ZMA pour l'impédance et .FRD pour la réponse en fréquence en cliquant sur le point d'interrogation, puis "OK" .



A ce stade je vous recommande de sauvegarder votre travail, Fichier -> « Enregistrer sous » et utilisez un nom explicite pour votre fichier .swd propriétaire à Speaker Workshop.

### 3°) Création d'une cible de filtrage pour votre HP

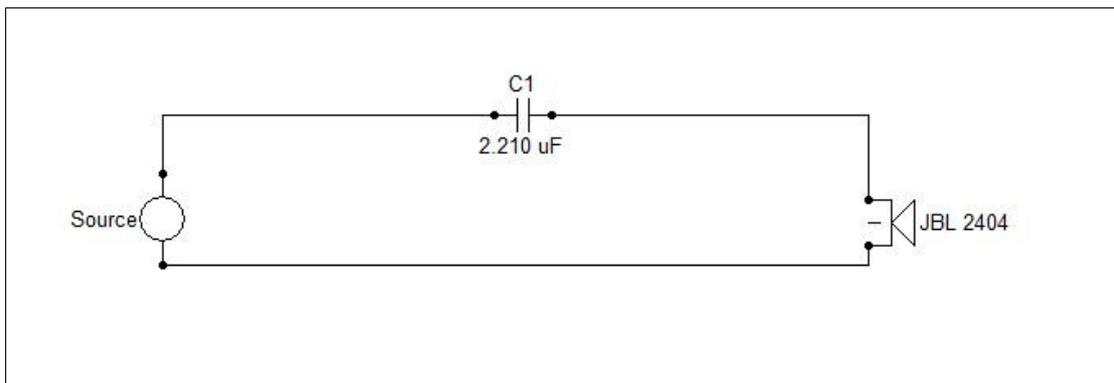
Nous allons tout d'abord relier le modèle de HP à un générateur de tension de façon à établir certaines bases nécessaires pour la suite.

Pour ce, menu Ressource -> nouveau -> Filtre. Nommez votre objectif puis OK.

Une nouvelle fenêtre s'affiche, blanche, avec le générateur à gauche. On peut déplacer le générateur (votre ampli) avec la souris pour le ramener au milieu de la fenêtre. Clic droit sur cette fenêtre, puis "Ajouter" -> nouveau HP et là choisissez votre modèle précédemment créé puis OK. On peut aussi déplacer le HP.

Il faut ensuite relier votre HP au générateur avec la souris. Pour cela, cliquez avec le bouton gauche sur un connecteur du générateur, maintenez le bouton enfoncé et tirez le trait jusqu'à une borne du HP, puis relâchez.

Puis clic droit sur le schéma, "Propriétés" et là cochez "Impédance du filtre" de façon à avoir les 2 cases cochées (Réponse fréquence et impédance) puis « OK ».



A ce stade sauvegardez encore une fois le travail, n'est pas de trop Wink

Ensuite, d'après la portion de réponse à peu près droite de votre HP, estimez l'amplitude en dB de votre passe-bande (bande non filtrée). Par exemple, votre HP de grave se maintient à peu près vers 100 dB relatifs, choisissez 97,5 environ (compensation effet baffle, etc.); c'est ce qu'il faudra renseigner dans l'étape suivante.

Menu "Filtre" puis Créer Objectif et là, choisissez vos paramètres :

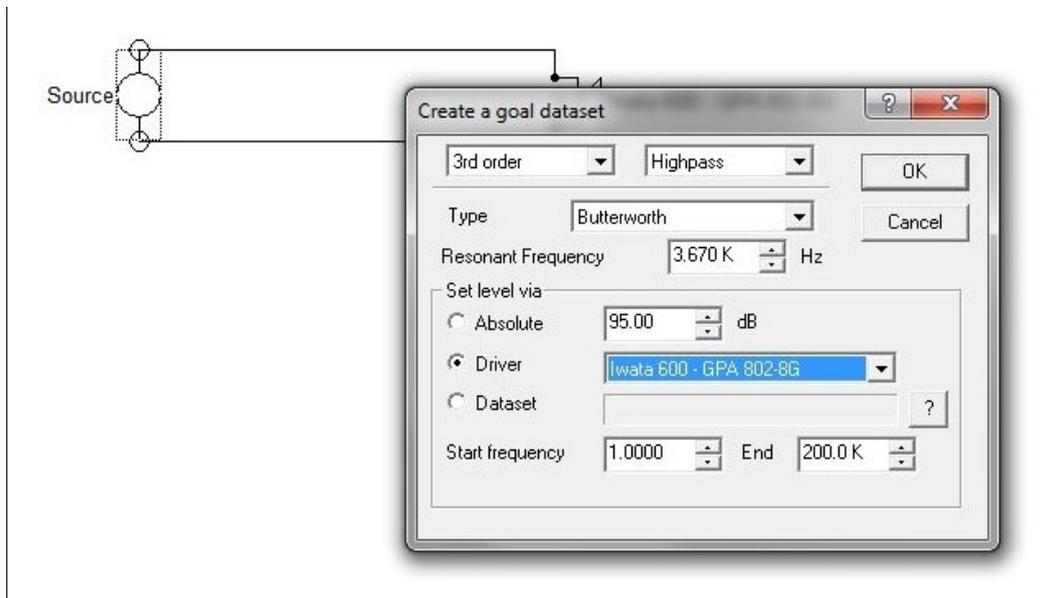
- Ordre (6dB, 12, 18, 24) et « Passe-haut » et « passe-bas » : suivant désir,

Attention dans la version française les termes passe haut et passe bas sont inversés ...

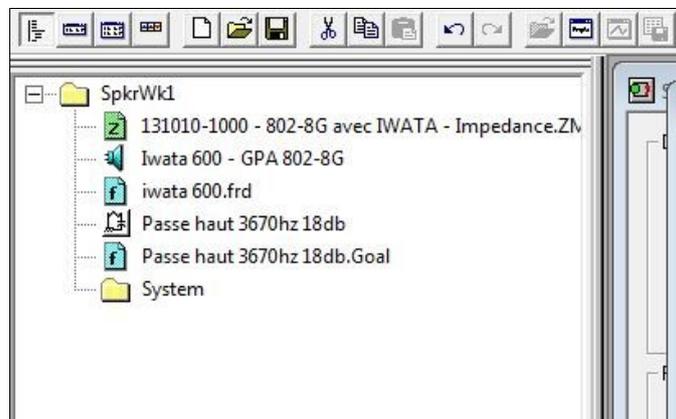
- type (Butterworth, Bessel, Linkwitz ...)

- fréquence résonante : c'est la  $f_c$  de votre filtre

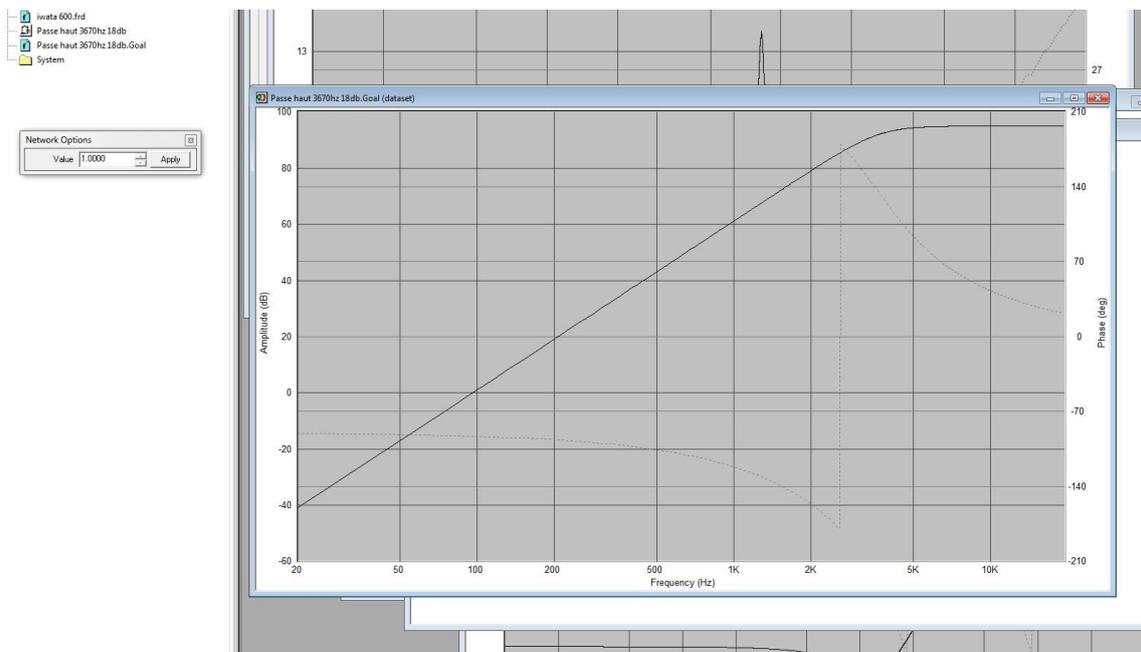
- niveau de référence : soit d'après la courbe du HP (estimation auto de SPW) ou absolu, entrez "97,5" par exemple puis « OK ».



La colonne de gauche de SPW va alors s'enrichir d'un objectif nommé .Cible (ou goal si votre logiciel est paramétré pour l'anglais).



En double-cliquant dessus vous pourrez vérifier qu'il s'agit bien de ce que vous souhaitez, il suffit de déplacer le curseur sur le graphe pour lire l'indication de niveau, fréquence et phase.



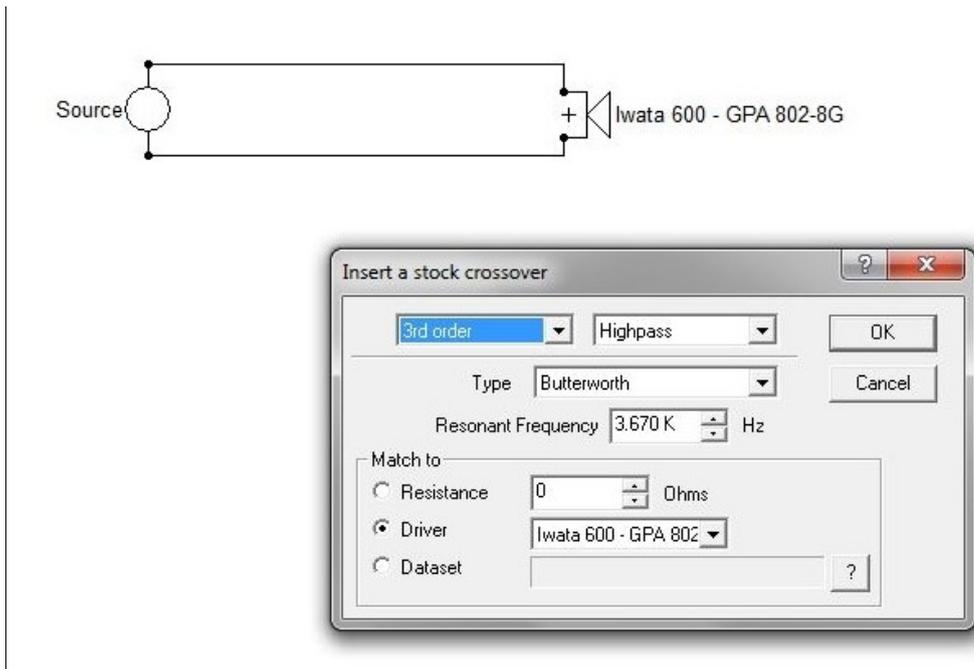
#### 4°) Insérer des composants sur le schéma du filtre :

Sur le filtre, clic droit puis « Insérer »... et insérez vos composants un à un, en les nommant et en leur attribuant les valeurs souhaitées.

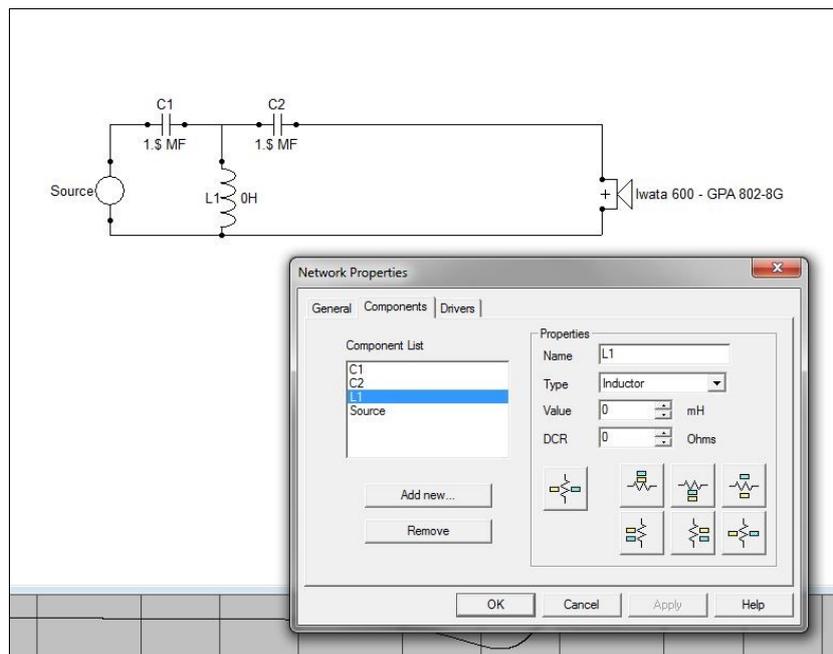
Je conseille de partir de valeur "stock" théoriques pour votre filtre, calculé en ligne sur le web par exemple avec

l'impédance à Fc souhaitée.

L'autre option consiste à utiliser l'utilitaire intégré : Clic droit au-dessus du schéma de filtre et insérer un filtre standard (Stock Crossover en anglais) :



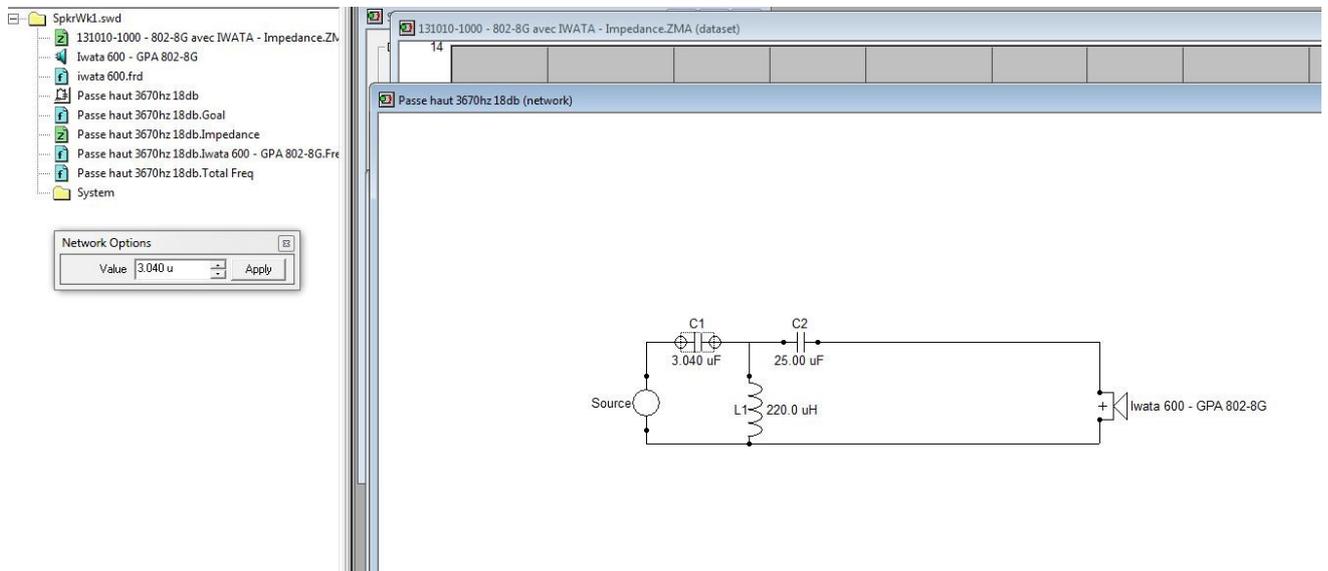
Les propriétés de chaque composant peuvent être éditées (clic droit ou double clic au-dessus du composant). Attention pour les selfs, veuillez renseigner leur valeur au courant CC en ohm, c'est important pour la précision des simulations ...



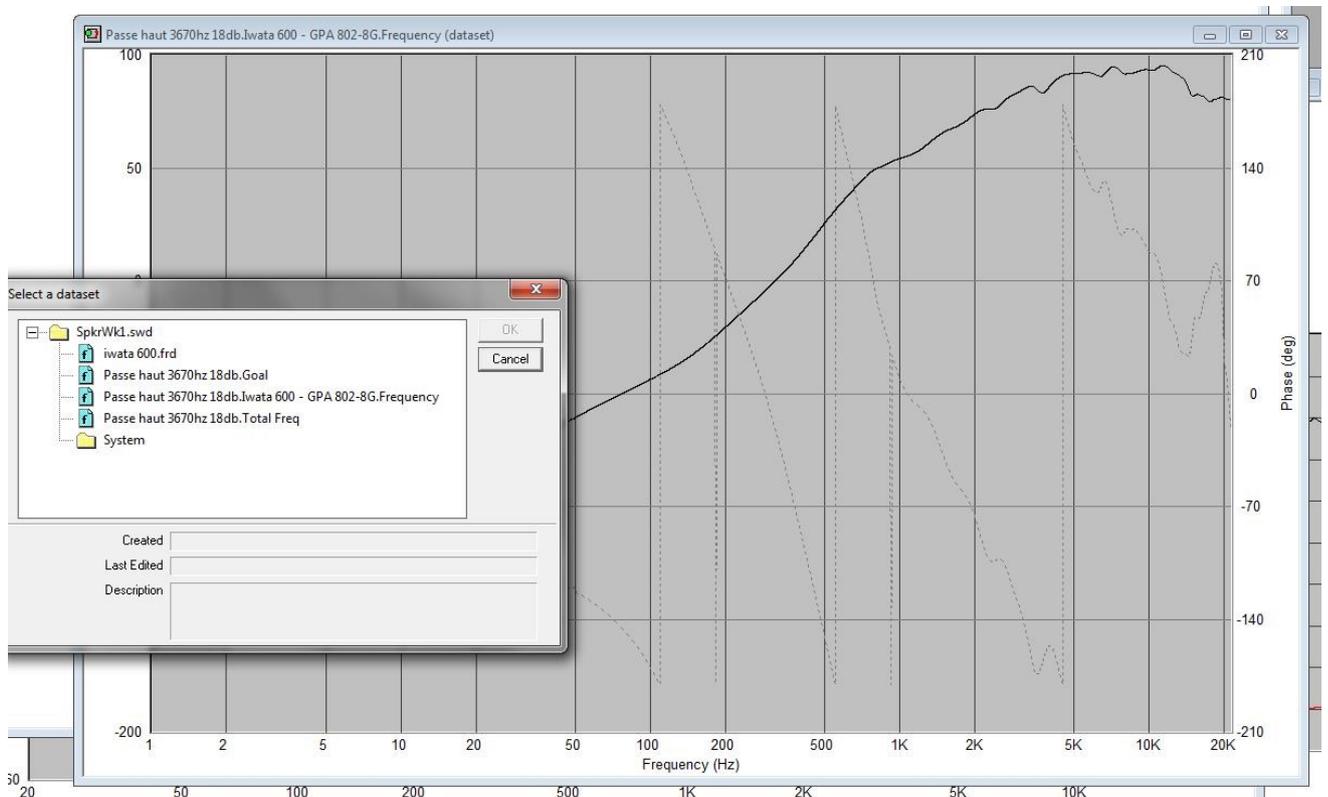
Pour tourner un composant ou bouger les indications écrites, il suffit de double-cliquer dessus et ensuite de choisir le « layout » puis « OK ». Attention ne jamais utiliser la touche "Appliquer", c'est un bug récurrent de SPW ...

Il peut être délicat de relier les composants entre eux. Pour cela, utiliser le clic et la souris plus la touche "Majuscule" en même temps pour relier un composant à une liaison déjà effectuée précédemment.

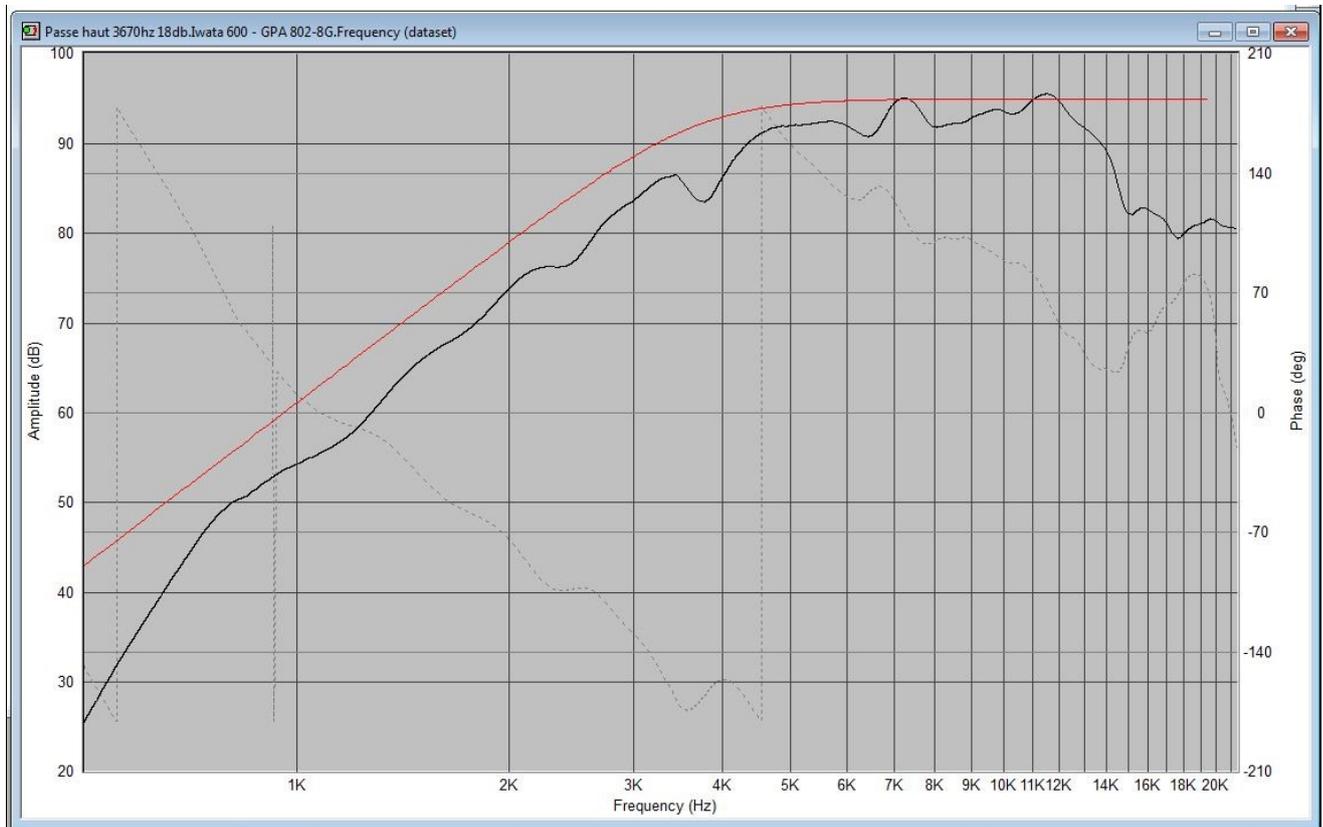
Ensuite, vous pouvez lancer le calcul : clic droit sur le schéma et " Calculer la réponse" ... Normalement 2 nouvelles lignes vont apparaître dans la colonne de gauche; la réponse en fréquence calculée (Passe haut 3670hz 18db.Iwata 600 - GPA 802-8G.Frequency) et la courbe d'impédance résultante (Passe haut 3670hz 18db.Impedance) ; Il est recommandé de jeter un œil dessus assez régulièrement ! Smile



Dans la fenêtre de la réponse FR calculée, vous pouvez faire un clic droit "Ajouter" puis choisir votre .cible) qui va se superposer à la réponse, permettant une comparaison directe.



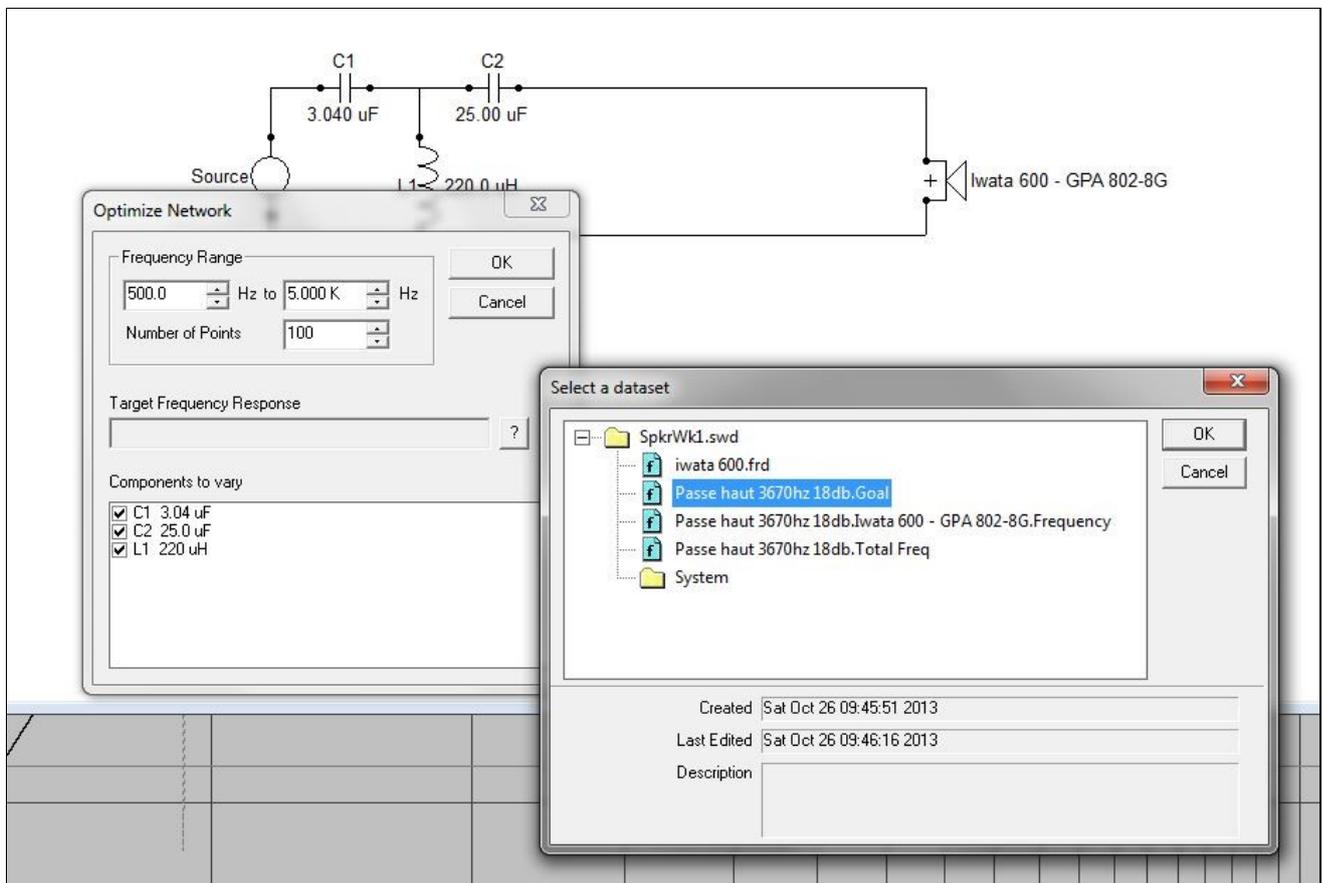
A ce stade, il est permis d'être irrité que les valeurs théoriques ne donnent pas satisfaction par rapport à la cible Wink ... c'est tout le sujet sur le filtrage analogique passif !!! Big Grin Donc nous allons utiliser une autre fonction indispensable de SPW, l'optimisation (dans le cas présent, on voit surtout un écart de niveau entre la cible et la réponse du HP).



Cliquez à nouveau (fenêtre de gauche) sur le filtre pour ramener la fenêtre montrant le schéma en premier plan., puis menu « Filtre » -> Optimiser le filtre ...Et : entrer vos paramètres désirés,

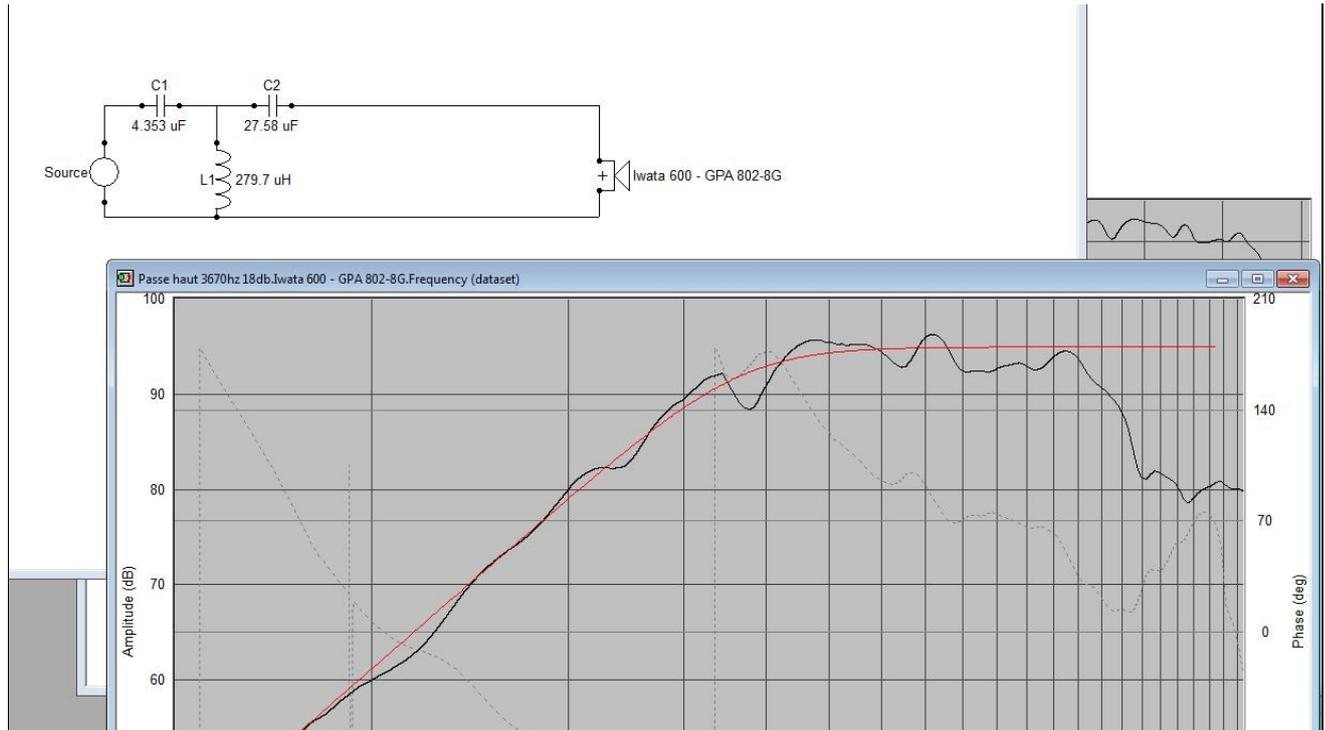
- Réponse fréquence début : à votre juste appréciation, par exemple pour couper un boomer à 700 en 24 dB Linkwitz, je placerais le début vers 350 ou 400 Hz et la fin haute vers 1k5 - 1k8 ...
- Nombre de points : 100, par défaut, 200 peut fonctionner mais être plus lourd
- Cible : Allez renseigner votre .cible précédemment créé
- Composants à optimiser / varier : choisissez ceux désirés.

Vous pouvez en exclure certains que vous ne souhaiteriez pas bouger, par exemple les compensations d'impédance type Zobel, LPAD, ...



En appuyant sur « OK » et en regardant votre filtre, vous verrez que SPW essaye d'optimiser les valeurs des composants afin de coller à votre cible, ce que vous devez vérifier à chaque itération en clic droit "Calculer la réponse" ...

Et voici le résultat, avec de nouvelles valeurs de composants :



Si le résultat semble coller, n'oubliez pas de vérifier la courbe d'impédance résultante de votre réseau, rien ne sert a priori de le mettre en pratique si le résultat descend à 1 ohm à une certaine fréquence ... sauf amateurs avertis sachant ce qu'ils font

Wink

Essayez alors plutôt de re-optimiser avec différents paramètres, pour obtenir un résultat voisin mais avec une impédance clémente. N'oubliez pas qu'autour de  $F_c$ , en passif mono amplification l'impédance du grave va se combiner avec celle de votre medium, occasionnant une valeur en générale encore inférieure in fine ...

Une fois votre projet bien mûr, il sera alors moment de le mettre en pratique et de le mesurer une fois réalisé, afin de vous assurer qu'il colle bien acoustiquement à la cible que vous aviez choisie.

Un certain nombre d'itérations sera nécessaire avant de vous repérer dans SPW comme dans d'autres logiciels courants, mais ce simulateur est plutôt logique et l'apprentissage en est relativement simple une fois le fonctionnement bien assimilé

Smile !!!

[SpkrWk1.zip](#)

## 9. Illustration avec SpeakerWorkshop d'un mauvais filtrage à 6dB

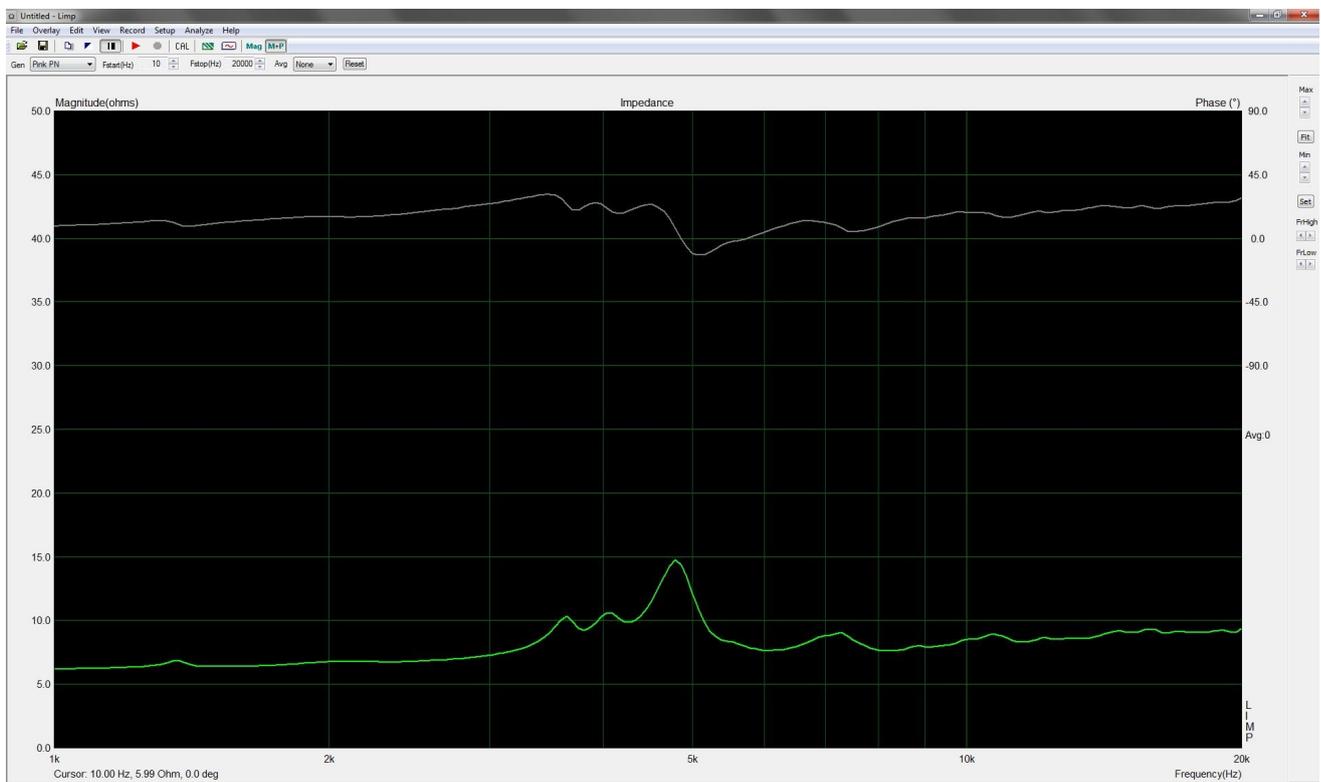
Speaker Workshop (suite: JBL 2404 filtré à 6 db)

Nous allons maintenant profiter des connaissances de bases acquises lors de la lecture des messages précédents pour réaliser une expérience amusante, qui va mettre en évidence les limites du « bricolage » en termes de filtrage.

Nous sommes nombreux à utiliser, ou à avoir utilisé, des tweeters JBL de la gamme 24XX. J'ai personnellement utilisé des 2405 et j'ai encore une paire de 2404.

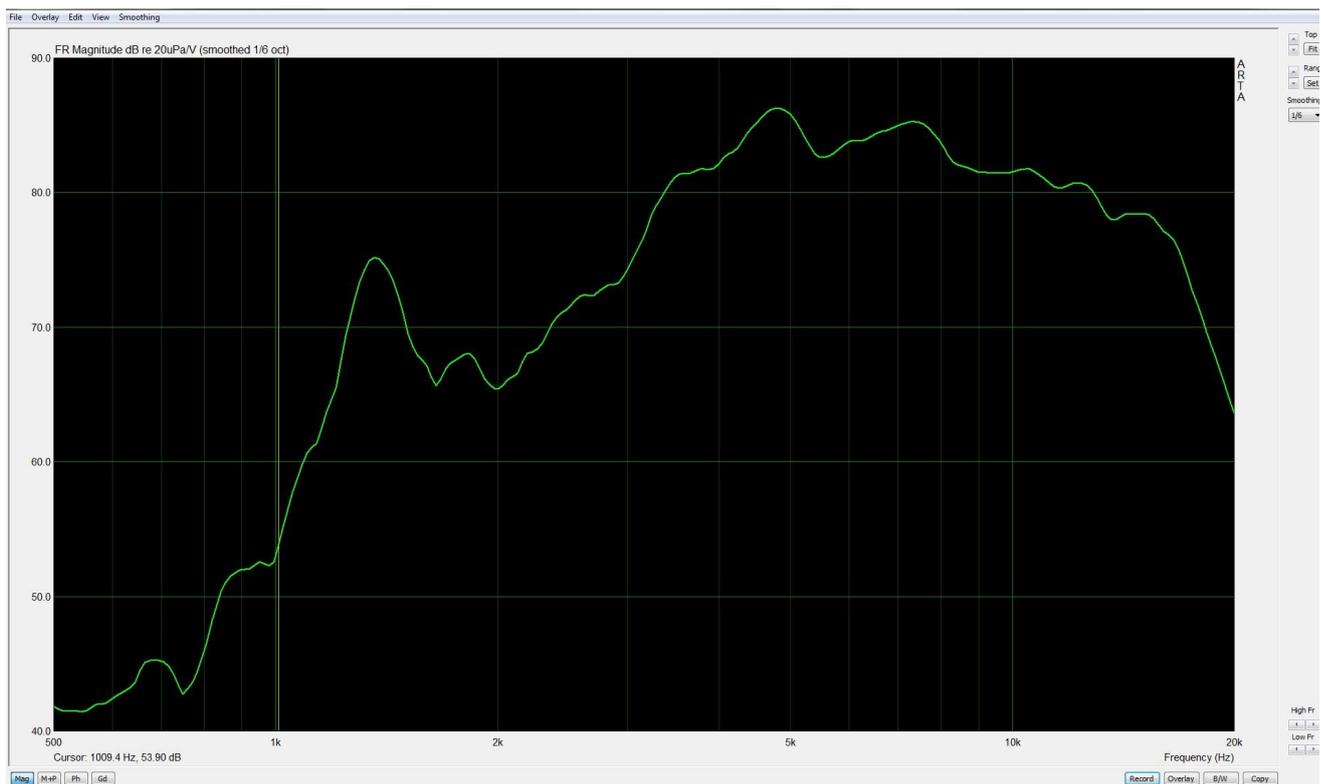
Nous avons tous entendus, ou été conseillés de rajouter ces tweeters à un système deux voies pour rajouter un peu d'aigus, en les coupant simplement avec un condensateur en 6db. Nous allons voir, par l'exemple, à quoi ce genre de bricolage peut aboutir.

Tout d'abord, mesurant l'impédance des haut-parleurs, donnés pour 8 Ohms :



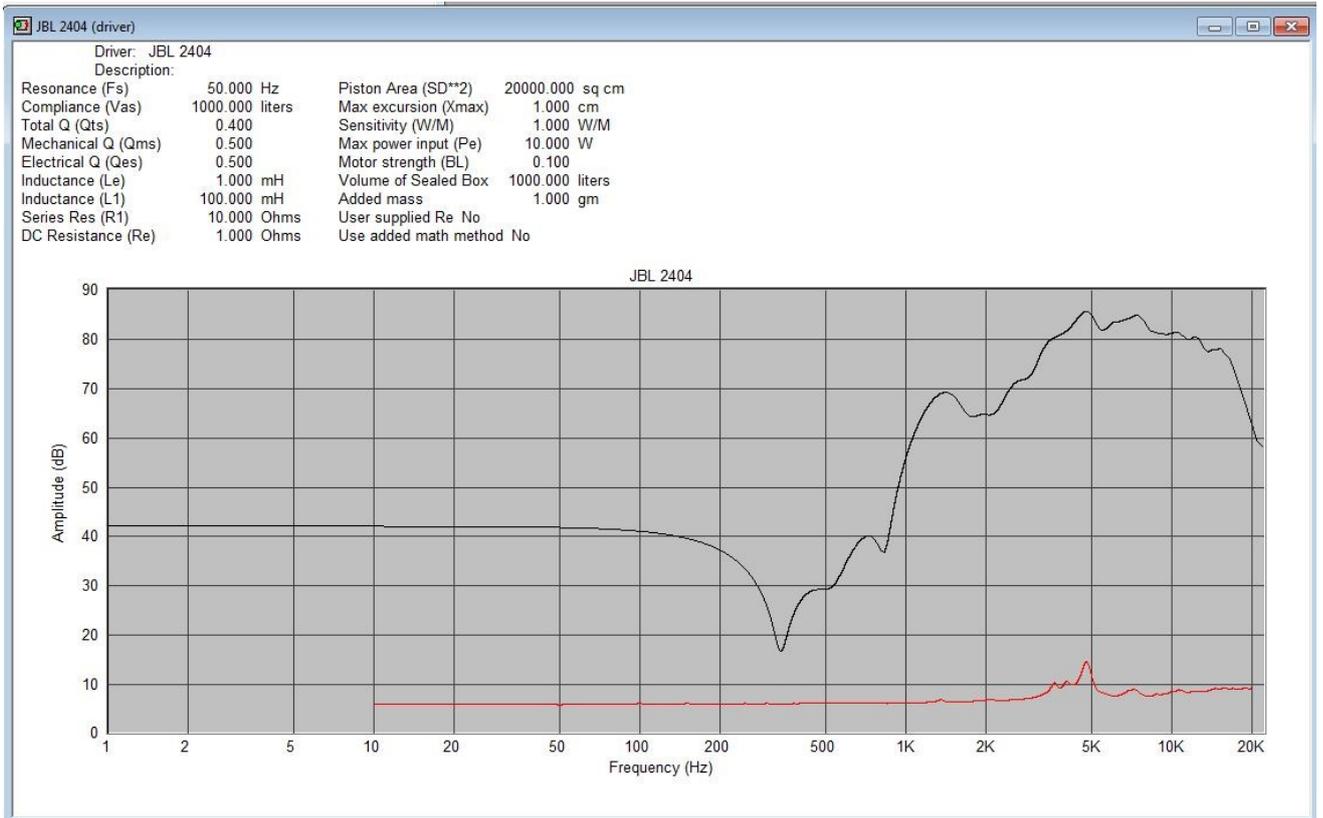
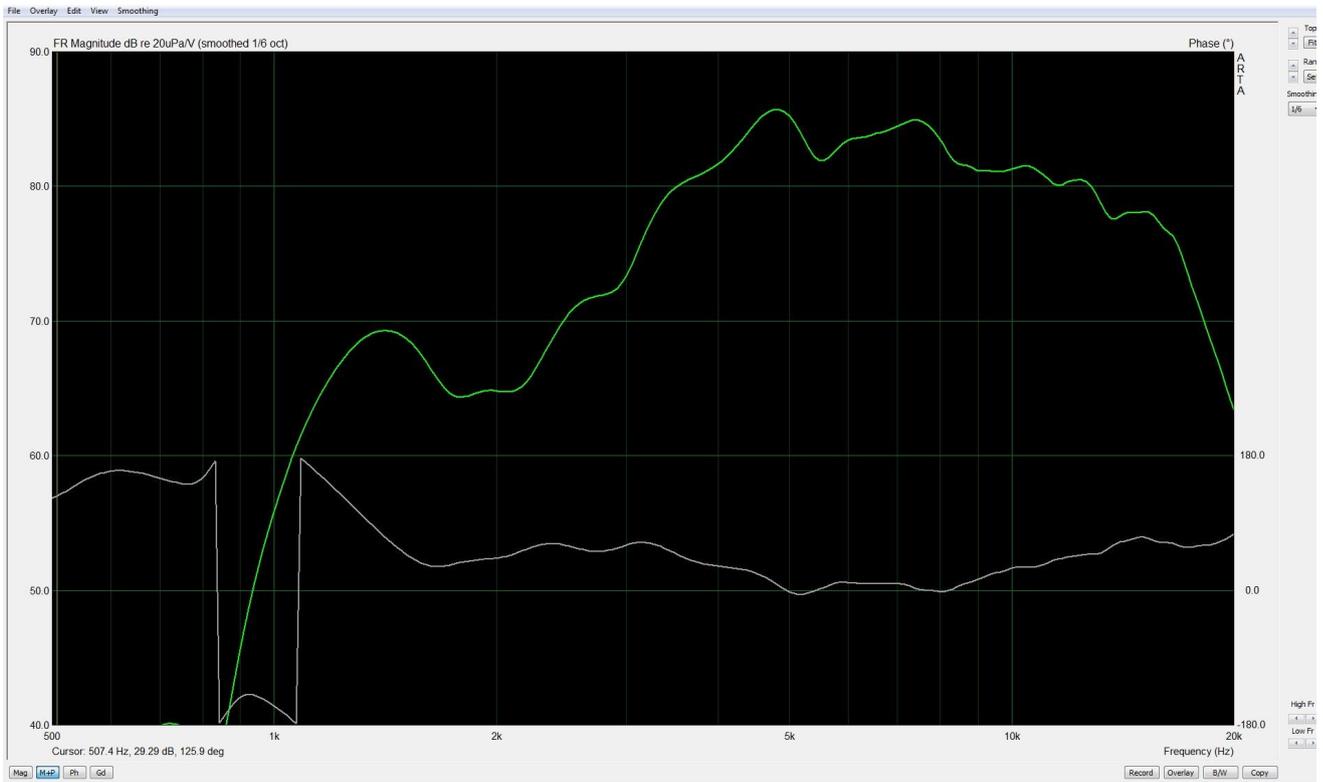
Aie ! il y a une vilaine bosse vers 4800 Hz.

Mesurons la courbe de réponse :

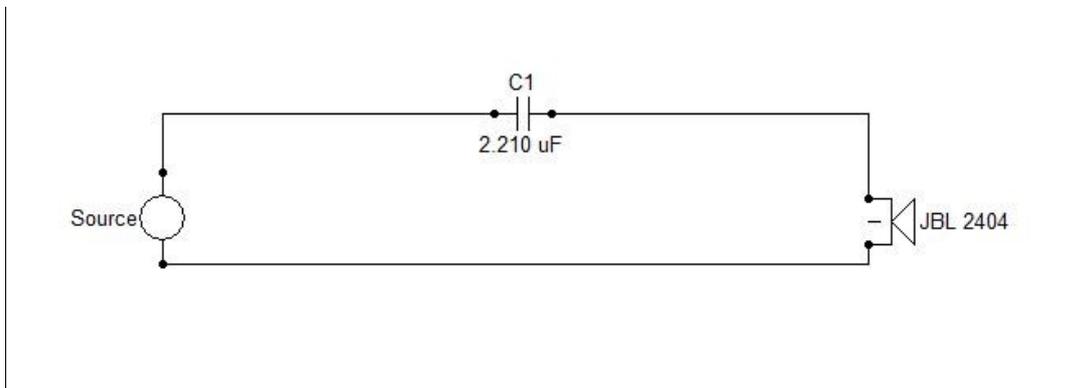


Le 2404 monte bien jusqu'à 16000 Hz, mais en pente descendante vers l'aigu et avec 8 db de plus à 4800 Hz, là où on a la bosse d'impédance.

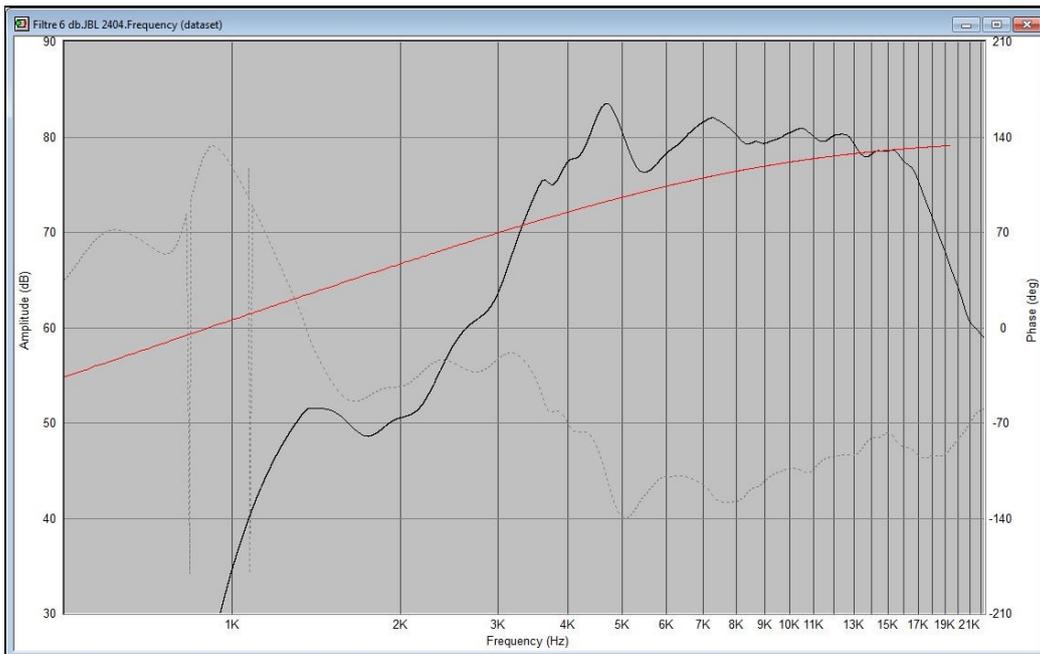
Importons les fichiers FRD et ZMA dans SPW :



Et créons ce filtre 6 dB conseillé par un copain. Pour l'exemple, je choisis une coupure à 9000 Hz, et je trouve, pour 8 Ohms, une valeur de 2,2 uF.



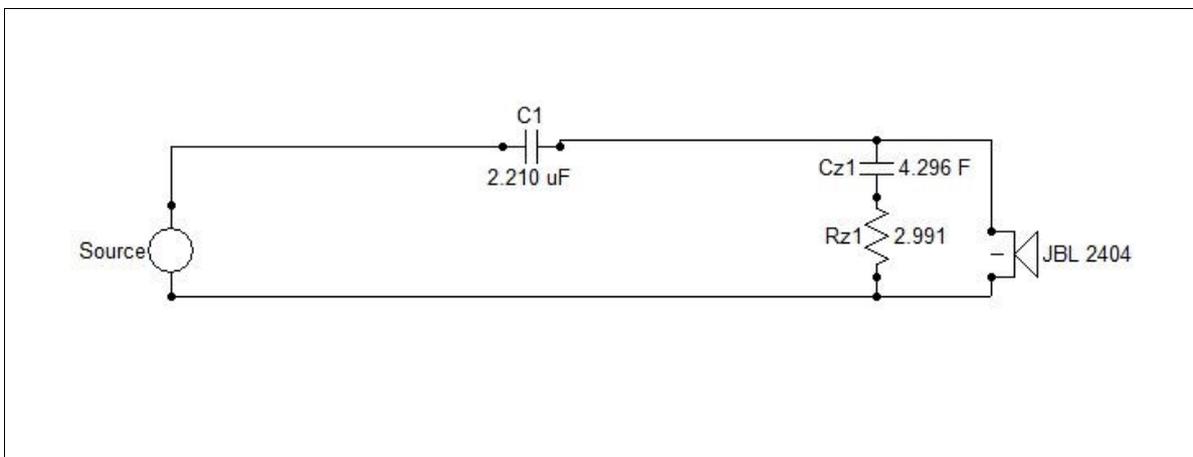
Regardons le résultat (voir message précédant pour les méthodes) :

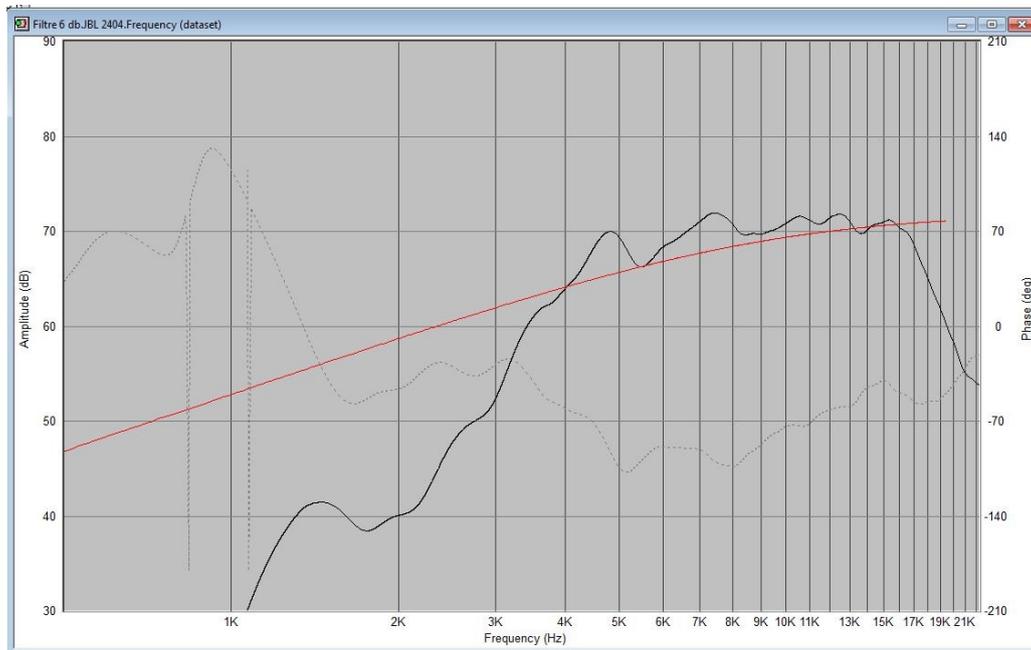


Zut ! il n'y a pas de coupure ! Quasiment 10 dB d'écart avec la cible à 4800 Hz, à cause de la bosse d'impédance. Le condensateur a seulement permis d'égaliser la courbe de réponse...

Autant dire que ça va ferrailer sérieusement. Au lieu de rajouter des aigus au-dessus de 9000 Hz, on a rajouté 10 db dans le haut medium.

Comment peut-on arranger ça ? Personnellement, je n'utiliserais pas un filtre de remier ordre pour ces tweeters... mais pour l'exemple, regardons ce qu'une correction d'impédance, telle que calculée par SPW, pourrait donner (il y a d'autres outils en lignes pour calculer les corrections d'impédance, peut-être plus performants, en rajoutant un RLC par exemple) :





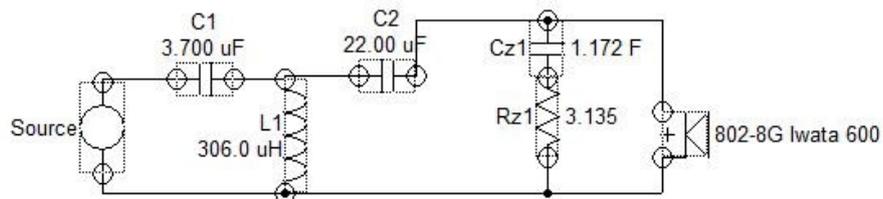
Cela améliore les choses, mais attention, au prix d'une perte de niveau (au moins sur la simulation), mais on reste quand même nettement au-dessus de la cible.

En continuant à travailler avec SPW, on pourrait certainement se rapprocher encore plus, mais ce n'est pas le but de ce message, que je poste pour illustrer l'intérêt de la mesure et de la simulation, et pour faire passer un message : Attention aux solutions trop simples...

## 10. Correction d'impédance avec LPAD

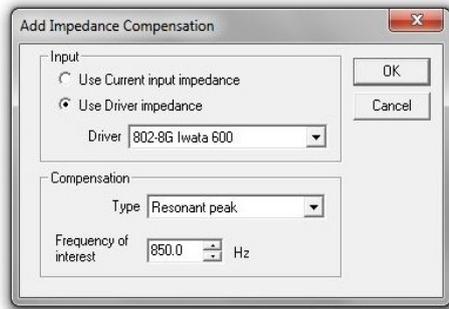
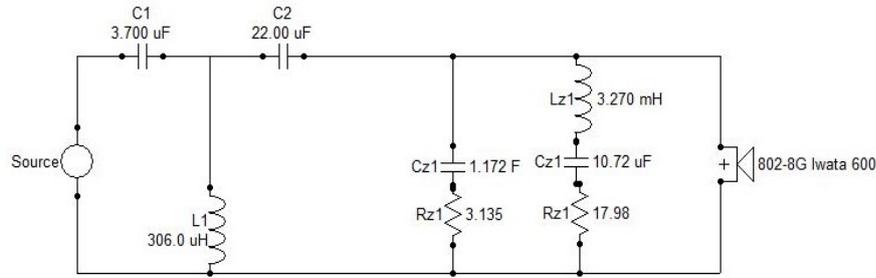
Nous avons vu dans les chapitres précédents que la courbe d'impédance des haut-parleurs chargés, notamment dans le cas des pavillons, est loin d'être une belle ligne horizontale.

On remarque normalement une remontée de l'impédance avec l'augmentation de la fréquence. On peut corriger cette remontée de l'impédance avec un circuit RC :



On remarque aussi, surtout avec les pavillons, une bosse près de la fréquence de résonance, qui peut être très gênante pour calculer le filtre si elle se situe près de la fréquence de coupure. On peut corriger cette bosse avec un circuit RLC.

Les puristes utiliseront les deux :



(ici avec SPW).

Le calcul de ces correcteurs peut être réalisé avec Speaker Workshop. Le site de [Dominique Petoïn](#) offre aussi des outils bien pratiques.

Personnellement, j'aime beaucoup la feuille de calcul Excel de [Jef Bagby](#), qui peut faire beaucoup plus et même remplacer en partie Speaker Workshop.

La correction d'impédance est jugée indispensable par certains, inutile par d'autres.

Ce qui est important, c'est que la variation d'impédance ne vous empêche pas d'atteindre les valeurs cibles (pentes et niveaux) pour la coupure du filtre.

## 11. Vérification des pentes obtenues et réglages des niveaux

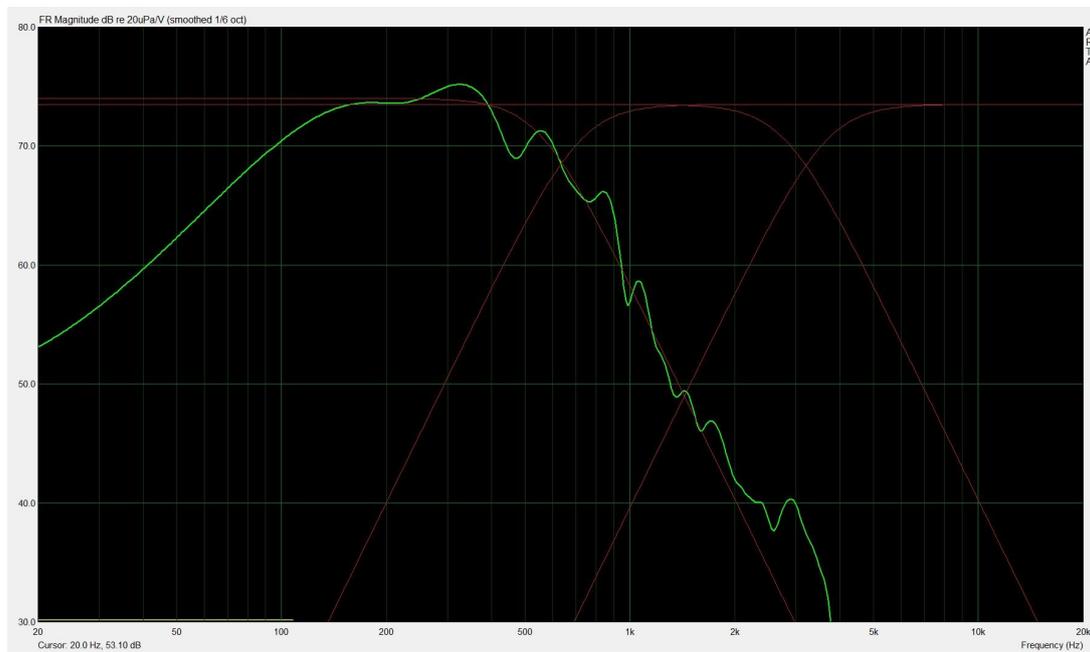
C'est l'avant dernier point. Ce sujet me semble très important (merci à Anaël d'avoir attiré mon attention sur ce point). Avant de commencer à affiner l'alignement des haut-parleurs, il faut :

- Que chaque HP soit filtré conformément à la coupure cible.
- Que chaque HP, mesuré séparément, soit ajusté en niveau par rapport aux autres.

Nous allons voir que le niveau intervient sur la qualité du raccordement, et donc, sur l'alignement.

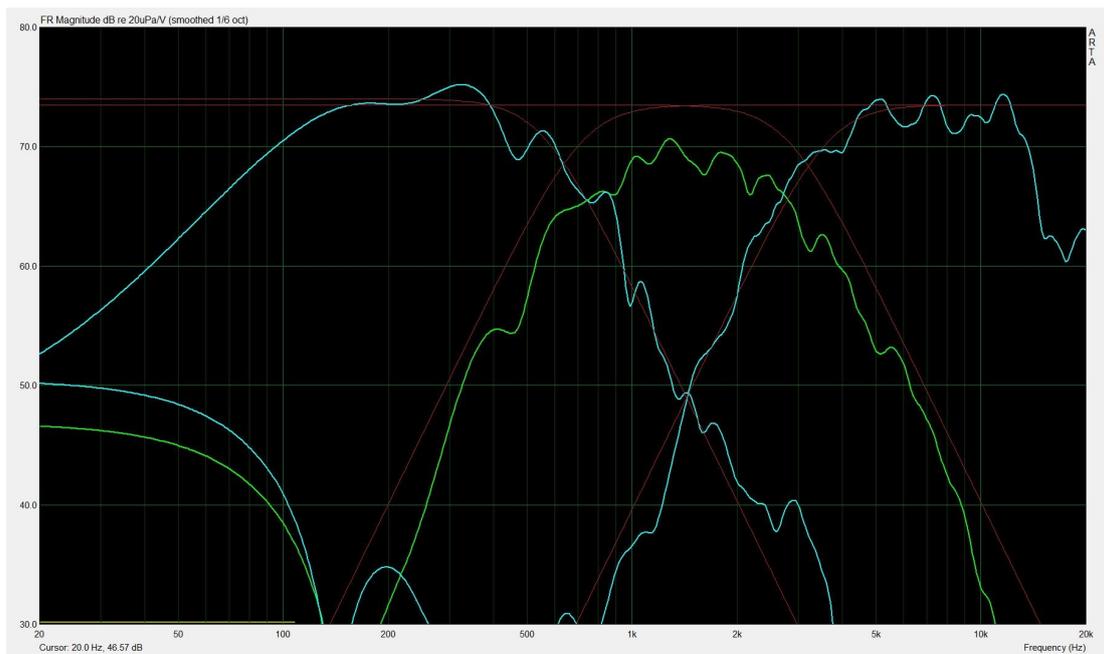
En général, du moins sur les systèmes utilisant des chambres de compression en médium et aigu, le haut-parleur de basse a un rendement plus faible que le médium et l'aigu. C'est donc celui que nous prenons en référence.

Nous commençons avec la mesure fenêtrée (pour avoir une idée de la valeur moyenne du niveau) du HP de basse :



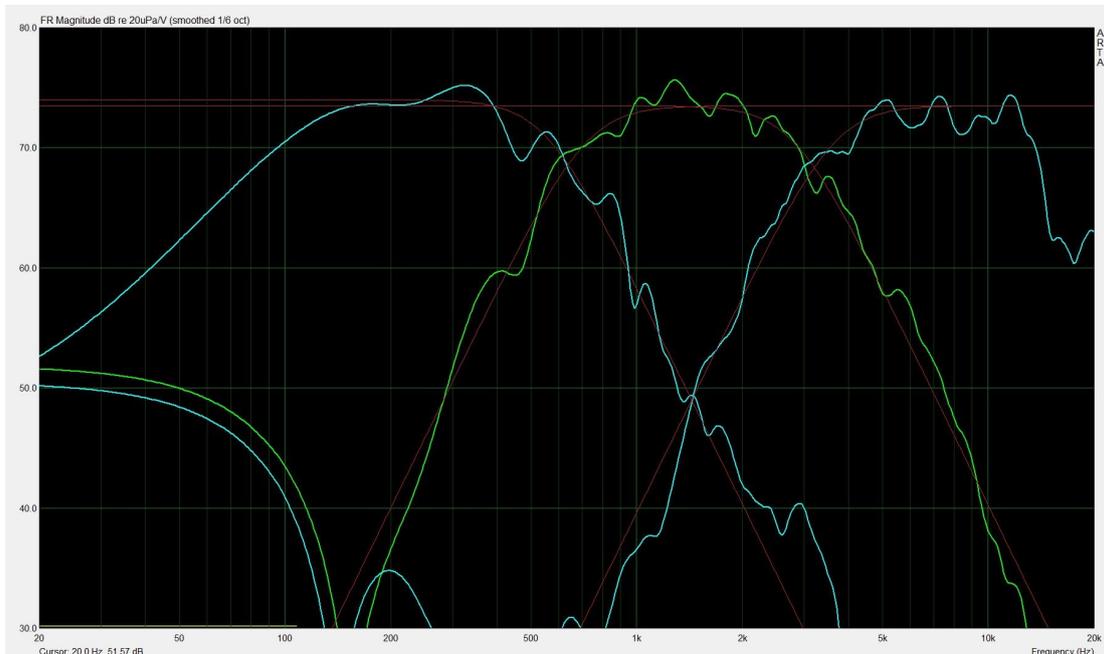
à partir de cette mesure, on peut définir les valeur cibles. Dans mon cas , je choisis 74 db pour le 515-8G (la valeur de 74 db n'est pas une valeur juste, car mon système n'est pas calibré), et 73,5 db pour le médium et l'aigu. J'ai un filtre du 3ème ordre JMLC, les valeurs sont : 549/722 et 2791/3670.

Je continue avec la mesure de l'aigu, et du médium.



Dans cette exemple, j'ai volontairement décalé le niveau du médium de 5 db (Arta scale). Que voit on ? Bien sûr, un manque de niveau du médium, mais surtout, que les fréquences de coupures théoriques ne sont pas respectées, avec à la clé, de nombreuses conséquences sur l'écoute.

Une fois le niveau du médium recalé, tout rentre dans l'ordre !



Il ne reste plus qu'à affiner l'alignement des HP.

## 12. Alignement des haut-parleurs

### 12.1 L'alignement des haut-parleurs (courbe de réponse et CSD)

C'est la dernière étape du réglage. je rappelle que toutes ces opérations peuvent être itératives et que des retouches sont souvent nécessaires.

Les pavillons posent un problème particulier avec le filtrage passif. Pour des raisons pratiques et esthétiques, on voit souvent la face avant du pavillon quasiment alignée sur la face avant de l'enceinte de grave. Les mesures comme l'écoute nous démontrent que c'est rarement une bonne solution...

Le filtre quasi optimal Le Cleach permet de compenser en partie cette contrainte en introduisant un décalage entre les haut-parleurs (voir [ici](#) Les filtres quasi-optimaux) et on voit des enceintes bass-reflex comme celles de René Cariou qui sont à la fois très bien alignées et dont l'esthétique est agréable. C'est évidemment beaucoup plus facile avec des enceintes de graves à pavillons, comme les VOT.

Avant d'aller plus loin sur ce sujet, je recommande la lecture d'une présentation faite en 2005 par Jean-Michel Le Cléach sur la [distorsion de phase](#). Cette présentation est disponible sur le site Mélaudia. Je n'ai pas réussi à obtenir de l'auteur l'autorisation de publier certaines des planches en rapport avec ce sujet, mais je crois que la lecture de ce document, même en ne s'attardant pas sur l'analyse des équations (pour les non scientifiques) est incontournable pour qui veut comprendre l'importance d'un bon filtrage.

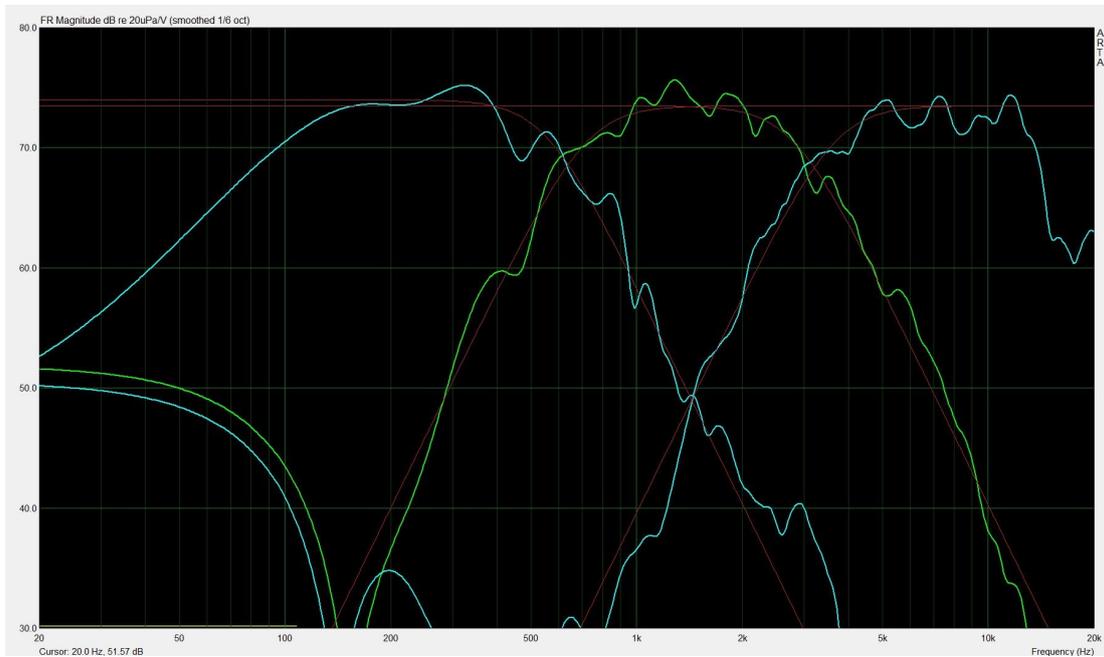
Dans ARTA, 3 outils permettent d'ajuster l'alignement :

- La courbe de réponse (Vue FR)
- Le CSD
- La vue Step Response

Je vais traiter ici des deux premières méthodes, qui sont celles que j'utilise principalement. Je sais que Pascal (PVRX) préfère analyser le démarrage des impulsions avec la vue Step Response. Je l'invite, s'il le souhaite, à compléter ce tutorial avec une explication concernant l'utilisation de cette fonction.

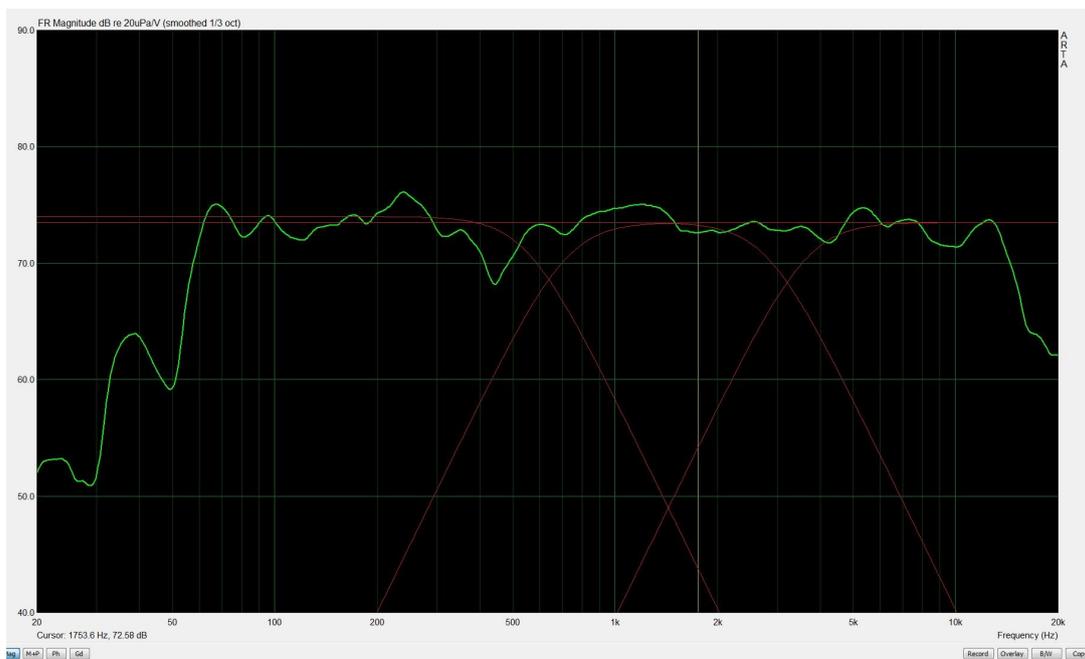
L'alignement influence la courbe de réponse.

Nous allons reprendre avec la vue des 3 mesures faites séparément et les valeurs cibles.



La mesure globale devrait montrer une sommation des courbes. Dans l'exemple qui suit, je montre le résultat avec deux positions différentes du haut-parleur d'aigu.

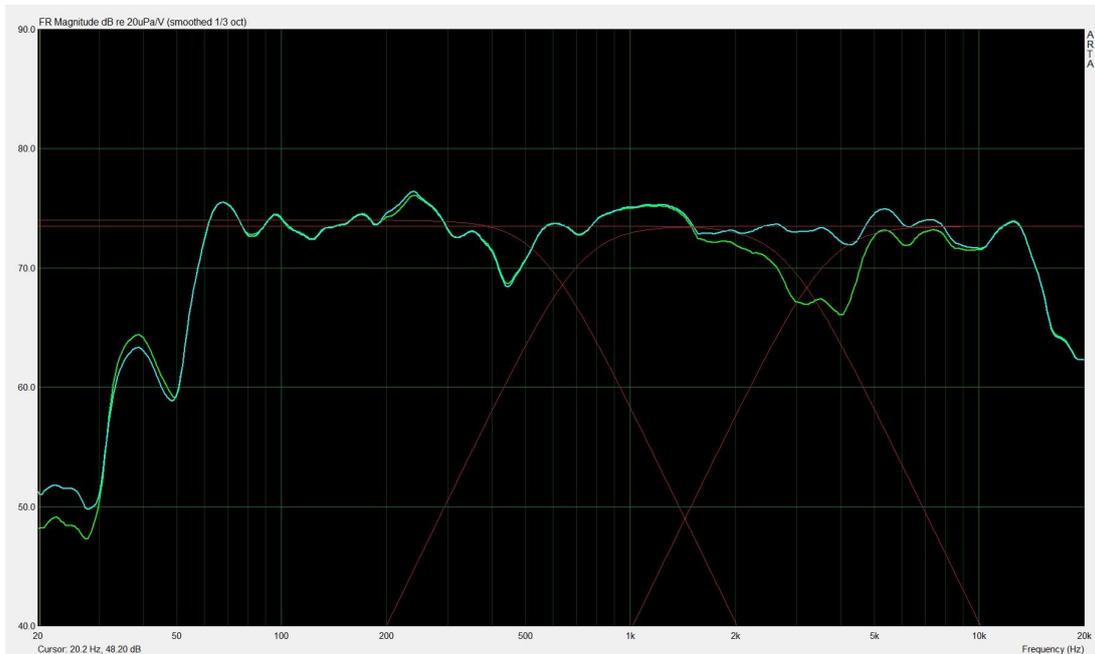
Haut-parleur correctement aligné :



Le creux à 440 Hz n'est pas lié au filtrage, il est présent quand on mesure le grave non filtré, et probablement dû à une annulation de fréquence au point de mesure.

Dans l'ensemble, la courbe globale colle d'assez près à l'objectif.

Haut-parleur d'aigu avancé de 26 mm pour mesurer l'effet du désalignement (courbe verte):



Je crois que le résultat parle de lui-même... là encore, ce genre d'optimisation ne peut pas se faire à l'écoute. Il faut mesurer...

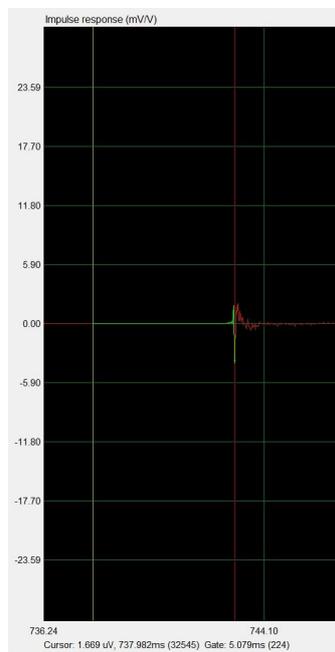
Le réglage de l'alignement est un peu fastidieux car il faut procéder pas à pas.

Le raccordement grave médium est le plus critique et c'est celui qu'il faut soigner en priorité.

Nous allons maintenant découvrir comment obtenir un graphique CSD exploitable, mais il faudra faire plusieurs mesures pour comparer les CSD entre eux, et de temps en temps, regarder l'impact sur la courbe de réponse.

A partir d'une mesure globale, il faut d'abord fenêtrer.

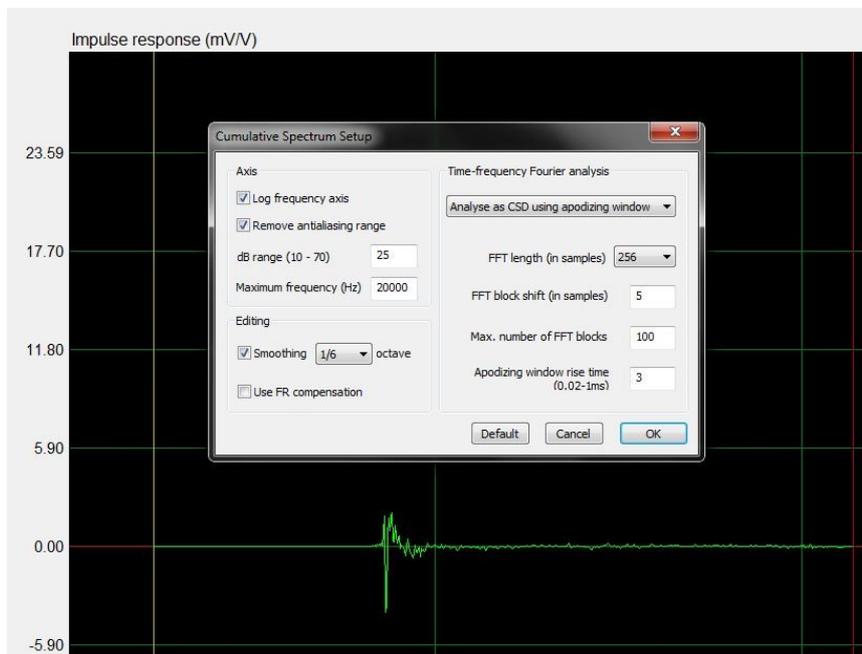
Cliquez d'abord avec le bouton de droite sur le sommet de l'impulsion, puis faites glisser le curseur jaune vers la gauche en maintenant le bouton gauche de la souris appuyé jusqu'à obtenir une valeur supérieur à 5 ms (Dans l'exemple ci-dessous : « Gate : 5.079 ms »).



Vérifiez que dans le menu « View », vous avez cliqué sur « Gate Time » et faites glisser le curseur rouge vers la droite en maintenant le bouton droit de la souris enfoncé jusqu'à lire, en bas et à gauche de la fenêtre, une valeur d'environ 15 ms (une valeur trop faible écrête les basses fréquences).

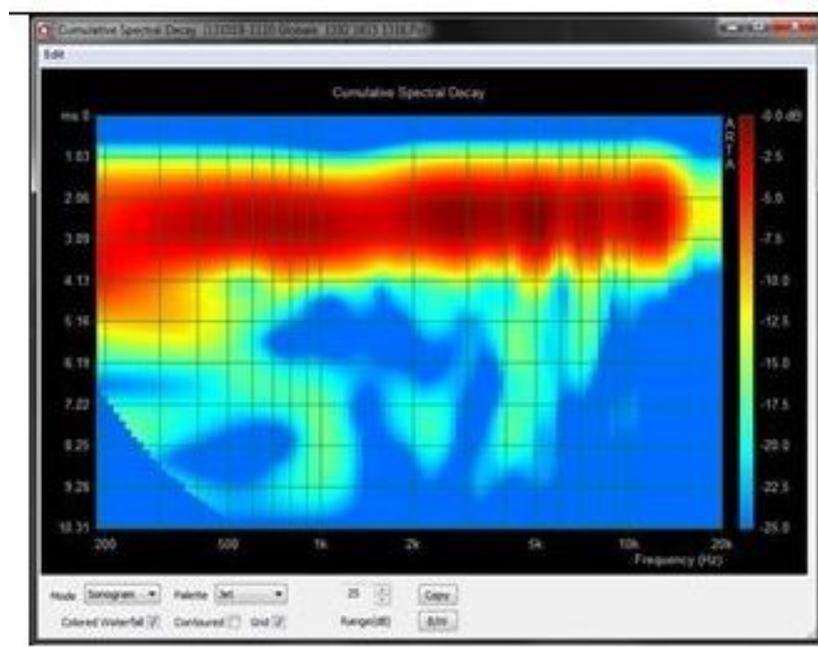


Cliquez sur le bouton CS (en haut) ou allez dans le menu « analysis » et sélectionnez « Cumulative Spectrum ». Une fenêtre s'ouvre :



Entrez exactement les mêmes paramètres que dans l'exemple ci-dessus.

Cliquez sur « OK » et vous devriez obtenir ce CSD :



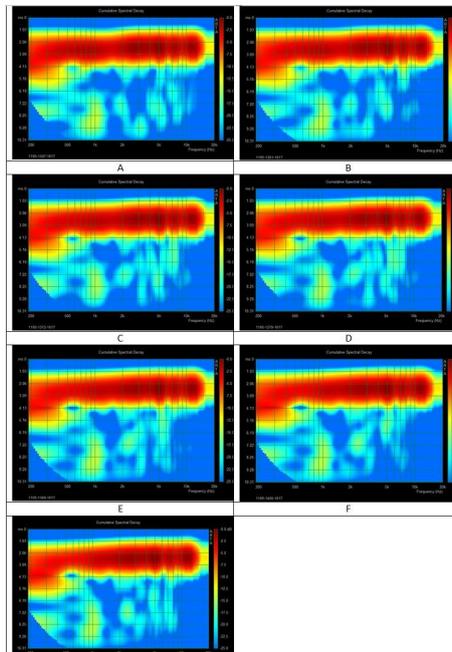
Je joins le fichier PIR pour que vous puissiez réaliser l'exercice.

### Comment interpréter le CSD ?

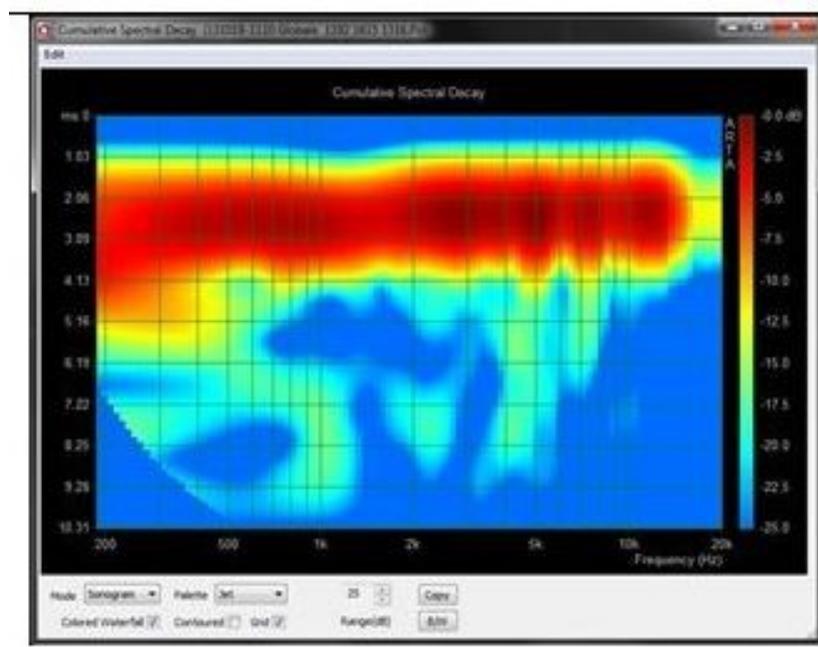
Le CSD ne donne pas d'information exploitable dans les basses fréquences, par contre, il est très utile pour observer ce qui se passe dans les zones de coupures usuelles (400Hz et au-dessus). L'échelle verticale représente le temps et l'échelle horizontale les fréquences. Les couleurs représentent l'intensité du niveau sonore. L'idéale serait d'obtenir un front continu (mais pas forcément horizontal) par zone de couleur.

En générale, on opère pas à pas, raccordement par raccordement. On peut commencer avec le médium, avec un pas de 5 cm, puis 2 cm et enfin, on peut descendre à 1 cm . Pour l'aigu, il faut travailler avec des pas plus fins (voir l'exemple ci-dessus et ce que peut donner 26 mm de décalage...).

La série que je publie ci-dessous correspond à la fin de l'opération, au moment où on affine, cm par cm.

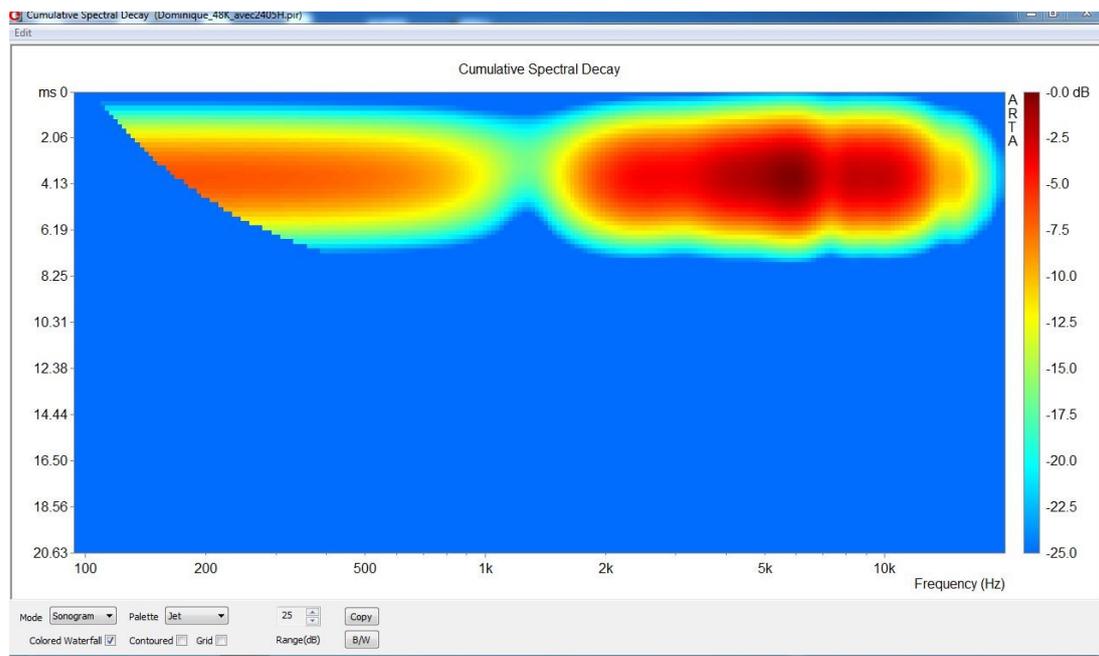


Dans l'image « A », vous remarquerez un affaissement vers 1400 Hz. Au départ, il était beaucoup plus important :



Je l'ai réduit en reculant progressivement le haut-parleur de basse par rapport au médium.

Il y a un réglage optimal au-delà duquel, quand on continue à reculer l'enceinte, le CSD se détériore ou bien, la courbe de réponse se détériore. Il faut penser à toujours comparer CSD et courbe de réponse. Dernier point, quand vous commencerez, votre CSD peut ressembler à ça :



Pas d'affolement, en suivant ce tutoriel et avec un peu de persévérance, vous devriez améliorer les choses !

Voilà, c'est terminé pour moi. J'espère ne pas avoir créé de confusion et avoir été suffisamment didactique. Si j'ai dit des bêtises, j'espère que les experts me corrigeront, en utilisant le fil de commentaires.

Alain (audiotechno) m'a proposé de publier ce tutoriel sur son site de manière à le pérenniser. Je pense que c'est une bonne idée car j'observe que le site de Mélaudia foisonne d'informations intéressantes, mais dont on perd la trace au fil du temps.

Je remercie Anaël et Eric, qui m'ont aidé, et j'attends vos commentaires et suggestions. [Exemple\\_CSD.pir](#)

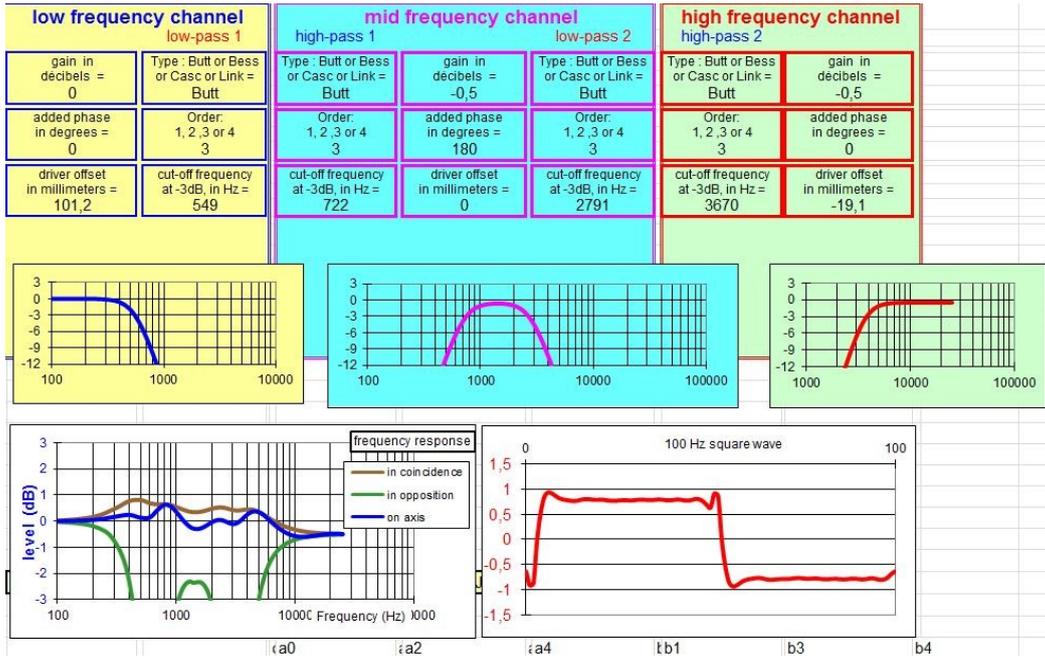
## 12.2 L'alignement des haut-parleurs (Impulsion)

Les commentaires de Pascal (PVRX) et les échanges qui ont suivi avec Jimbee et JMLC m'ont amené à considérer de plus près la méthode recommandée par Pascal, qui consiste à aligner les HP en se servant d'une analyse de l'impulsion.

Pascal partait du postulat que le démarrage des impulsions des 3 HP devait se produire au même instant. La discussion a montré que c'est vrai pour un filtre classique, mais qu'il peut en être autrement pour un filtre Quasi Optimal.

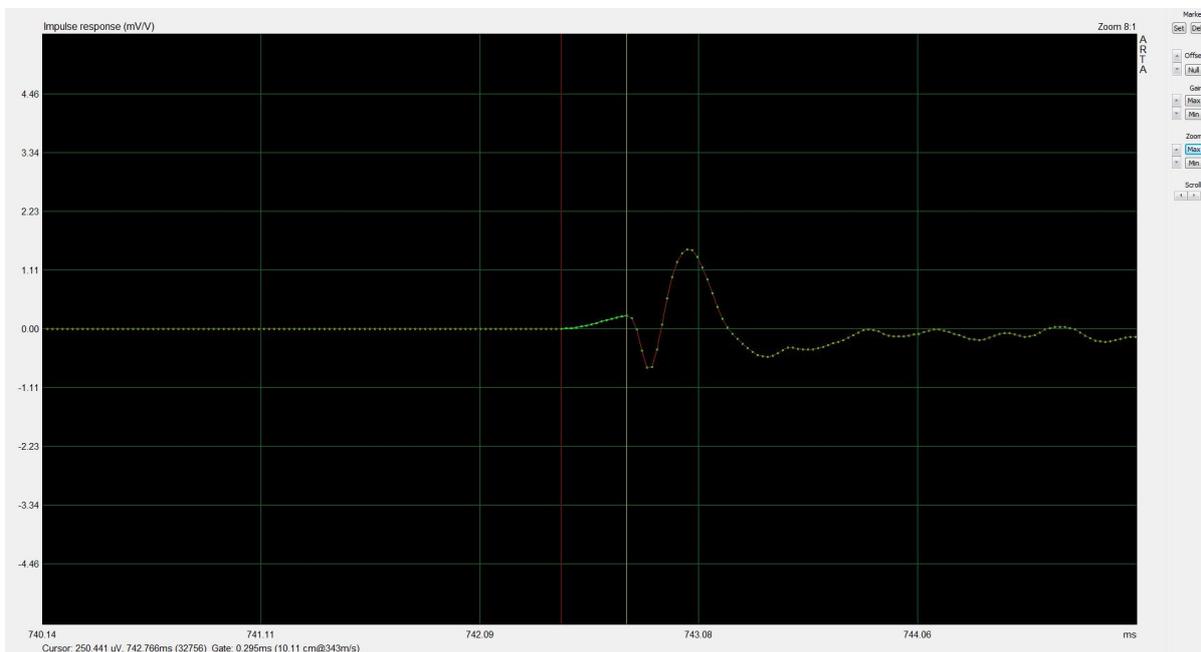
J'ai donc repris la feuille de calcul de Jean Michel et pris en compte les valeurs de décalage :

+101 mm (avance du grave par rapport au medium) et - 19 mm (retard de l'aigu sur le medium).



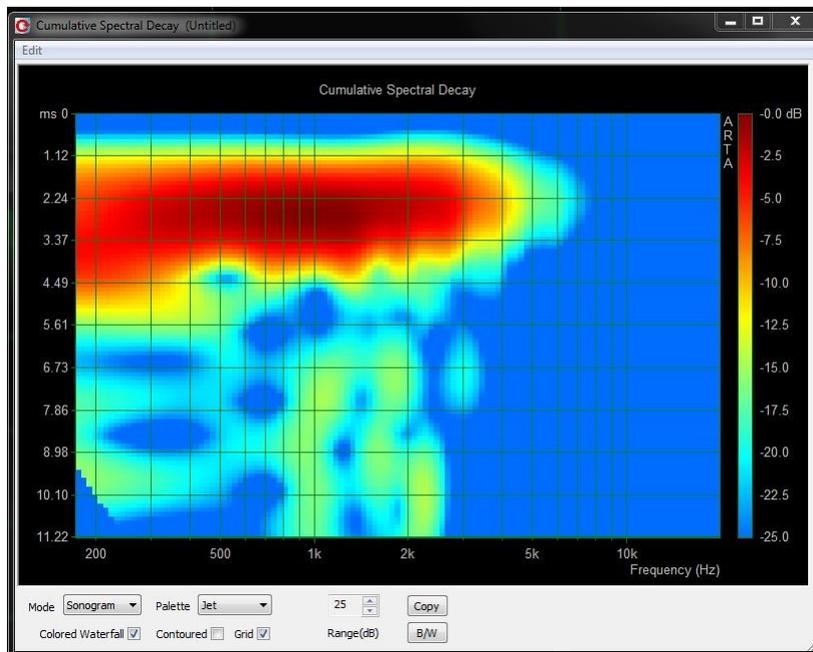
Pour commencer, j'ai débranché l'aigu pour faciliter la lecture. Il faut zoomer sur l'impulsion au maximum et augmenter le gain (zoom et gain sont à droite de l'écran sur ARTA). J'ai affiné le décalage de ma VOT jusqu'à obtenir la valeur que l'on voit à l'écran (en bas à gauche) grâce au fenêtrage entre le démarrage du grave (à gauche) et le démarrage du medium (à droite). L'option « View/Gate Time » permet de lire la distance en mm.

Dans mon cas, l'identification du point de démarrage du medium est facilité du fait de l'inversion de la polarité, et du signal.

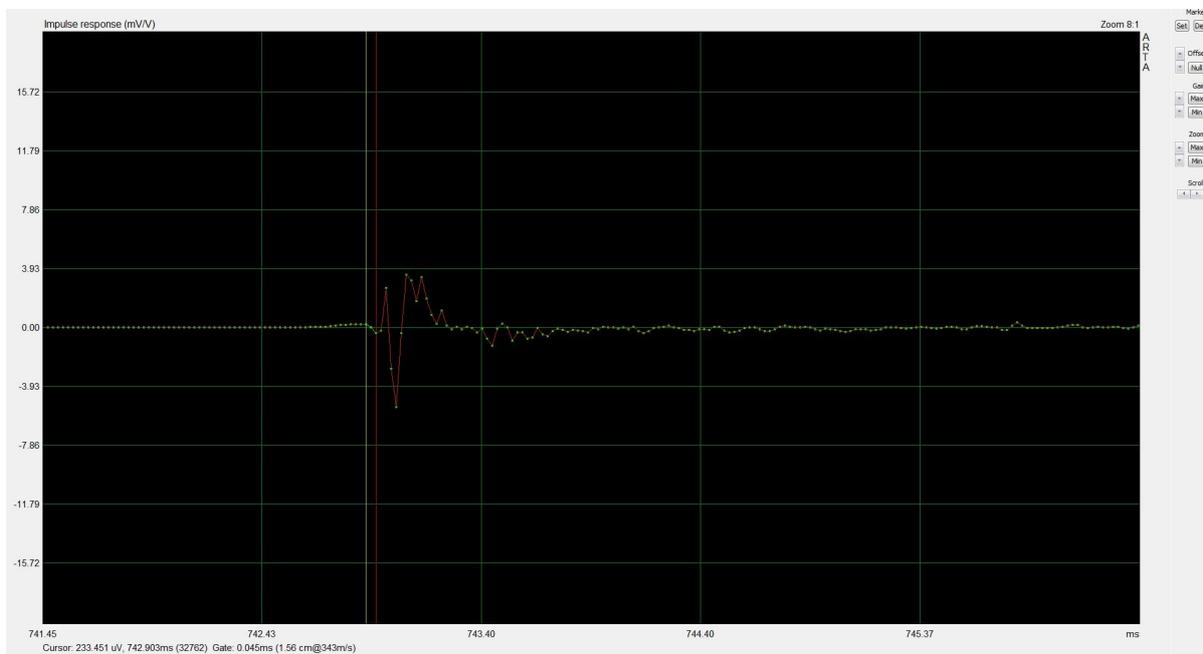


Notez que ce décalage d'environ 100 mm de l'impulsion ne correspond pas exactement au décalage physique des haut-parleurs. Essayer de régler le système (comme je l'ai fait au tout début), en se basant sur l'écart géométrique est une approximation.

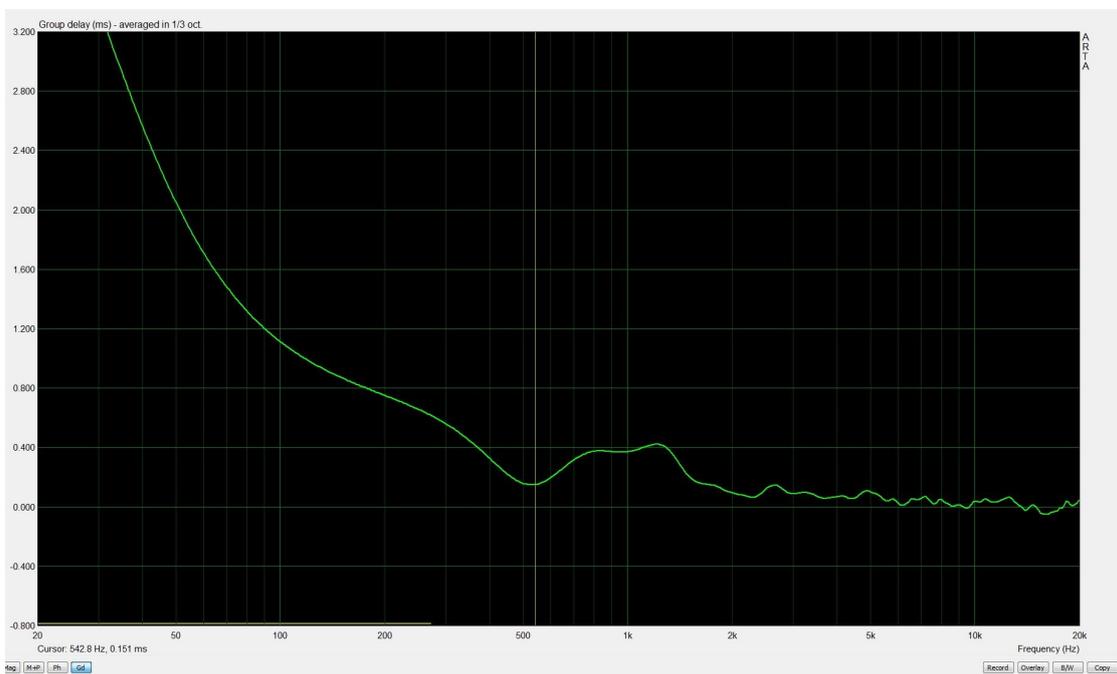
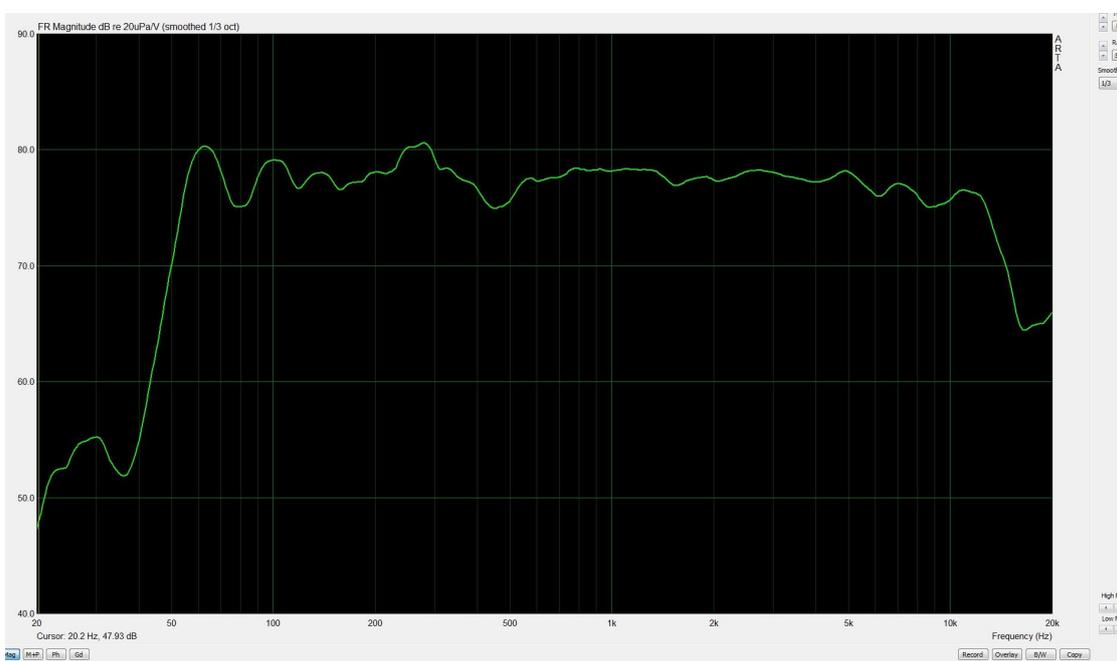
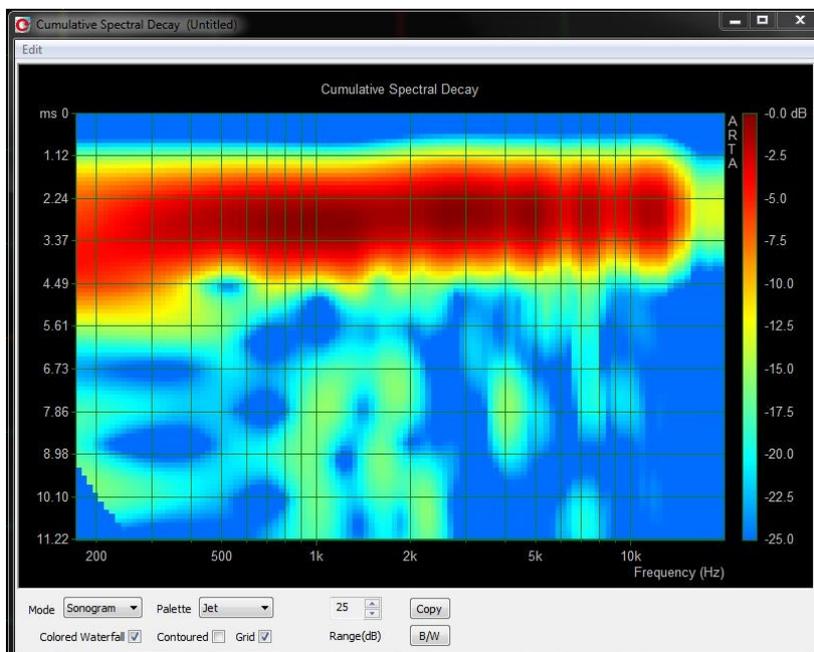
Je joins le CSG correspondant (2 HP seulement, pas d'aigus).



Le réglage de l'aigu est un peu plus délicat, mais peut-être effectué avec la même méthode.



Je joins le CSG global et la courbe globale. Le trou en dessous de 500 Hz n'est pas lié au filtrage. On voit que le raccordement à 620 et à 3200 Hz se passent plutôt bien.



A l'écoute, c'est ce que j'ai obtenu de mieux jusqu'à présent, à la fois au niveau des timbres et de la dynamique. Très spectaculaire sur les percussions.

Cette dernière méthode me semble plus rapide et plus discriminante que la précédente.

Je remercie Pascal, Jimbee et JMLC pour leur contribution. Ci-joint le fichier PIR pour ceux qui veulent pratiquer par l'exemple et de l'image montrant le délai de groupe :

[131107-1700\\_globale\\_droite.pir](#)

