

# Etude et conception des enceintes acoustiques pour les basses fréquences

# SOMMAIRE:

- I. Présentation de la problématique
- II. Présentation des caractéristiques d'un haut-parleur
- III. Théorie de l'enceinte close
- IV. Théorie de l'enceinte à évent
- V. Etude expérimentale
- VI. Conclusion



# **PRÉSENTATION DE LA PROBLÉMATIQUE:**

Pour qu'un haut-parleur constitue une source d'énergie sonore suffisante et correctement répartie dans l'espace ,il est indispensable de séparer les ondes rayonnées par la face avant du HP de celles qui sont émises par la face arrière. C'est le rôle de l'enceinte. Si celle-ci permet d'obtenir des résultats satisfaisants aux fréquences moyennes du spectre , elle pose en revanche des problèmes importants aux très basses fréquences .Leur importante longueur d'onde implique pour les produire , d'utiliser des HPs de grand diamètre, couplés mécaniquement à un important volume d'air .

Car la masse d'air enfermée dans l'enceinte réagit par compression sur le mouvement du HP, provoquant un accroissement de la raideur apparente de la membrane .Cela a pour conséquence une remontée de la fréquence de coupure basse de l'enceinte qui devient inapte à restituer les fréquences du registre grave .



# PRÉSENTATION DES CARACTÉRISTIQUES D'UN HAUT-PARLEUR :

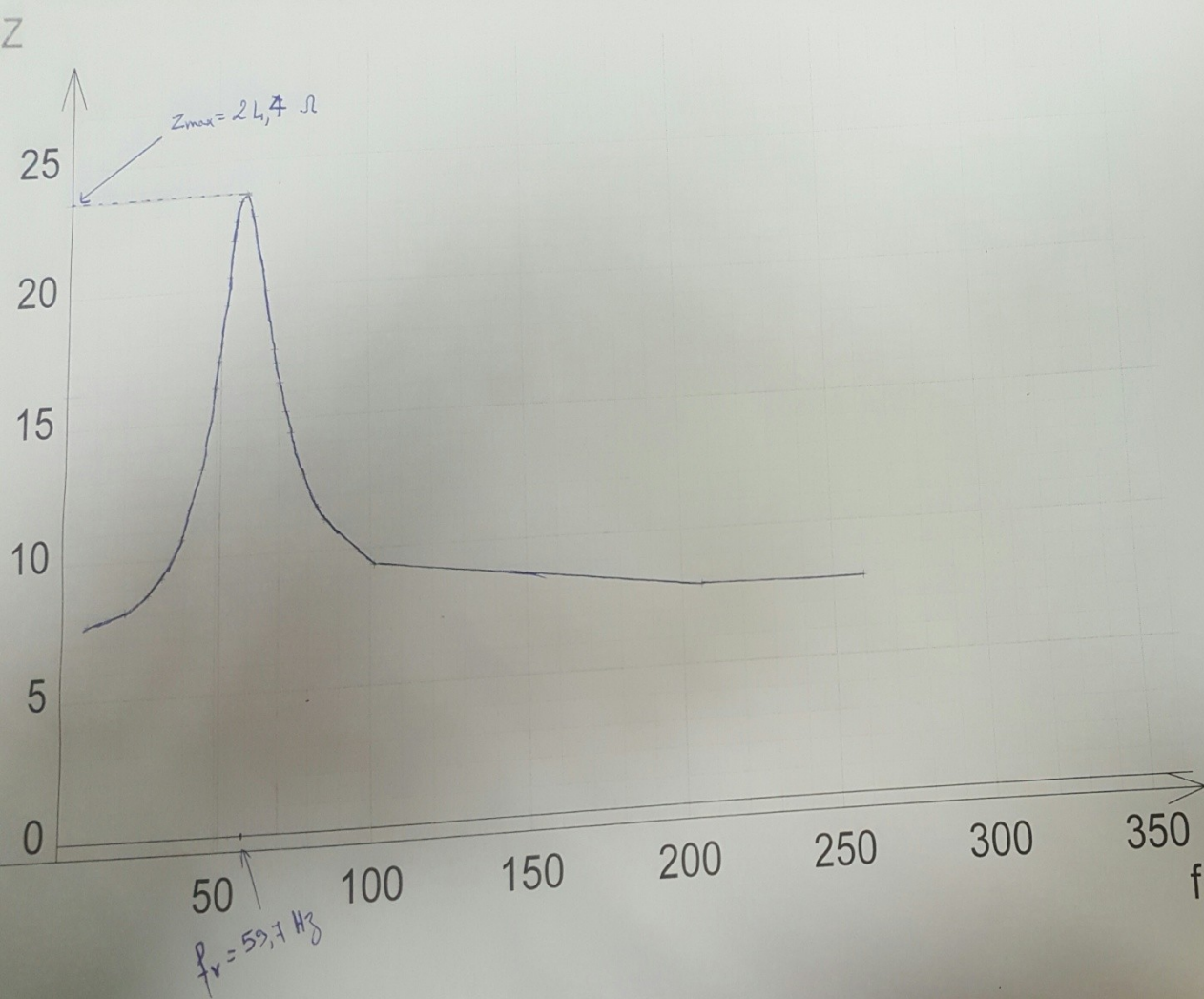
Un HP doit satisfaire des critères différents suivant son utilisation. C'est pourquoi, les constructeurs établissent les caractéristiques d'un tel émetteur afin de mettre en évidence ses qualités et ses défauts .

Grace à des manipulations réalisées au cours de cette année ,nous nous proposons de tracer quelques-unes de ces caractéristiques: la courbe d'impédance du HP , la courbe de réponse(niveau acoustique émis par le HP en fonction de la fréquence de la tension d'amplitude constante imposé à ses bornes) et la courbe de linéarité .

Fonction de transfert du HP :  $H(\omega) = R + jL\omega + \frac{R_{ms}}{1 + jQ_{ms}(\omega/\omega^0 - \omega^0/\omega)}$ .

$$\omega^0 = (k/m)^{0.5} \quad Q_{ms} = m \cdot \omega^0 / h \quad R_{ms} = ((Bl)^2) / h$$



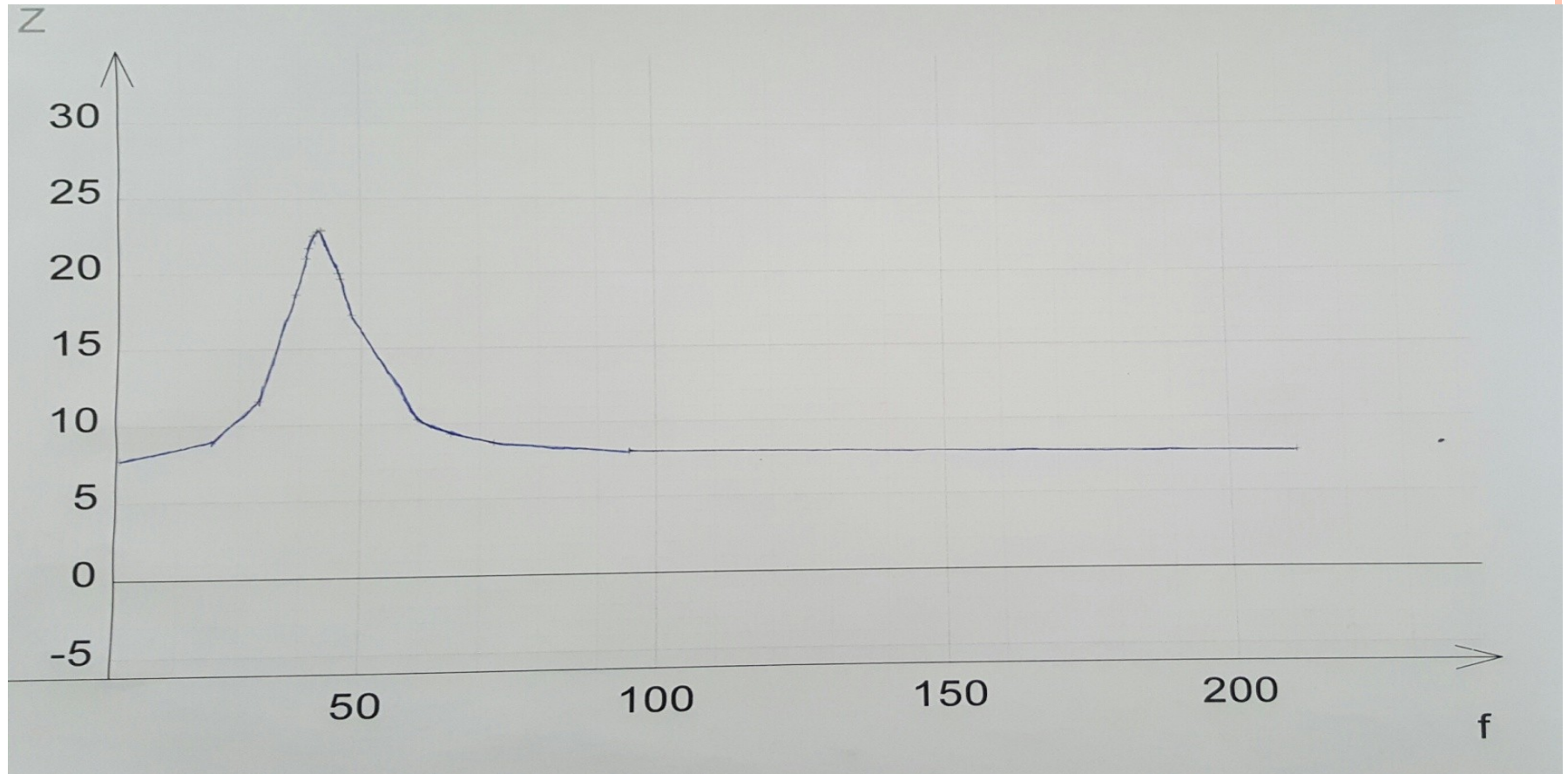


- Impédance max  
 $Z_{max} = 24.4 \text{ ohm}$
- Fréquence de résonance  
 $f_r = 59.7 \text{ Hz}$   
 $Z_{max} = R_{ms} + R$
- Résistance mécanique  
 $R_{ms} = 18.4 \text{ ohm}$
- Compliance de la suspension ( $1/k$ )  
 $C_{ms} = 6.46 \cdot 10^{-4} \text{ m/N}$
- Facteurs d'équilibres  
 $Q_{ms} = 4.03$   
 $Q_{es} = 1.37$   
 $Q_{ts} = 1.027$

COURBE D'IMPÉDANCE DU HP:



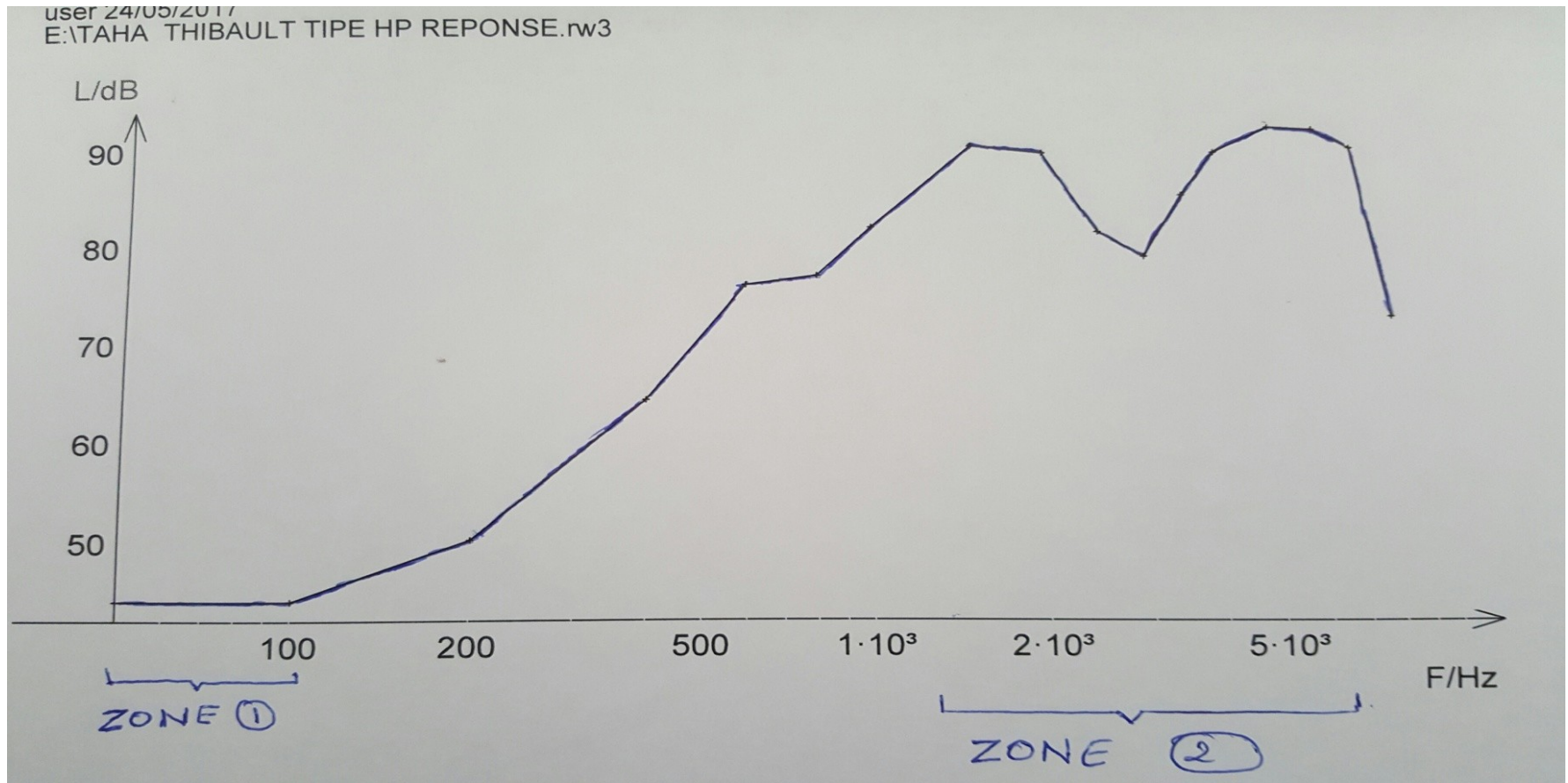
**CALCUL DE MMS QUI CORRESPOND À LA MASSE DE L'ÉQUIPAGE MOBILE: POUR CELA ON RAJOUTE UNE MASSE M SUR LA MEMBRANE DU HP ON TROUVE DONC UNE NOUVELLE FRÉQUENCE DE RÉSONANCE  $F=59.7\text{Hz}$  ET FINALEMENT ON TROUVE  $MMS=10,99\text{G}$**



D'où la complicité de la suspension qui vaut  $Cms=6,46.10^{-4} \text{ m/N}$



# COURBE DE RÉPONSE DU HP :



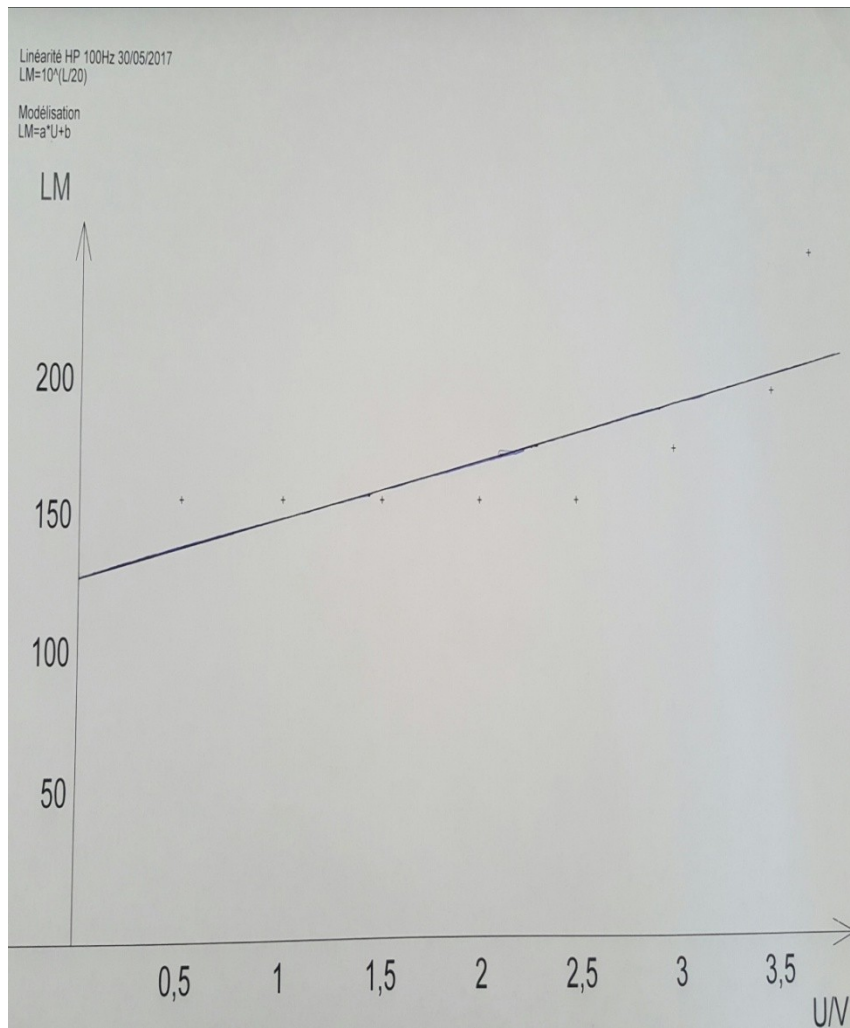
Zone1: ( $< 50\text{Hz}$ )  
5KHz

Zone2: entre 1.5KHz –

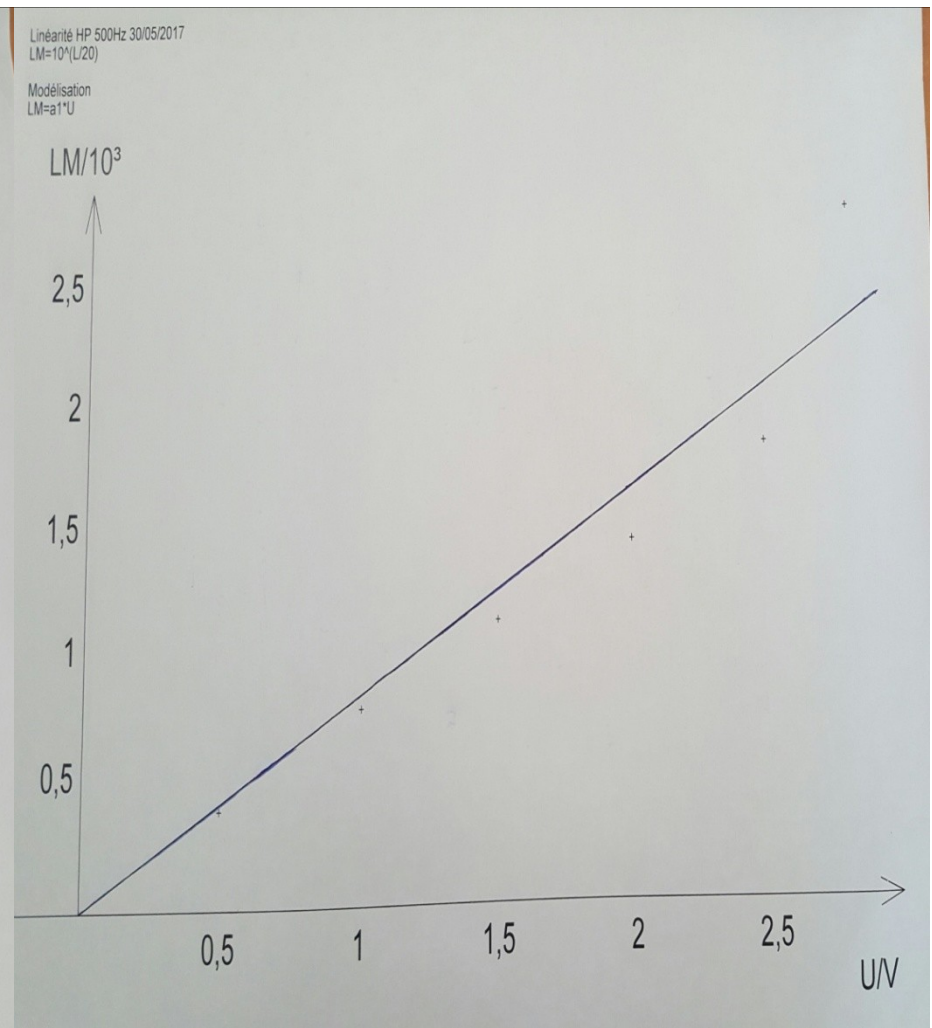


# COURBE DE LINÉARITÉ :

À  $F=100\text{Hz}$



À  $F=500\text{Hz}$

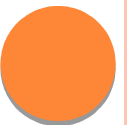




On vérifie donc que l'intensité acoustique  $I$  de l'onde sonore est proportionnelle au carré de son amplitude

$$I = k \cdot U_m^2$$

avec  $L = 10 \log(I/I^\circ)$  en dB



# CAISSON CLOS:

L'enceinte close qui comme son nom l'indique , est un coffret fermé, totalement hermétique dont le but est d'emprisonner l'onde arrière et donc supprimer le court –circuit acoustique .

Par conséquent, seule l'onde sonore générée par la face externe du HP est diffusée dans le local d'écoute . On l'appelle aussi « suspension acoustique » ,car la membrane du HP s'appuie sur l'air emprisonné.

Mais cette charge(couplage entre le HP et le volume d'air adéquat dans l'enceinte ) implique l'utilisation d'un HP de très bonne qualité et de grand diamètre pour reproduire efficacement les basses fréquences.

Comme le baffle infini, il découple complètement les rayonnements avant/arrière de la membrane, mais il modifie la fréquence et la surtension de résonance du HP par effet pneumatique de l'air enfermé.

L'allure de la réponse n'est pas le seul élément à prendre en compte pour optimiser l'enceinte, car l'efficacité du système varie comme le cube de la fréquence de résonance du HP et proportionnellement au volume du coffret clos.



Il y a donc une relation entre  $Fr$ ,  $V_c$  et le rendement de l'enceinte.  
D'où l'alternative:

- Soit de rechercher un rendement maximum, en augmentant le terme  $Bl$  (aimant à fort champ de saturation) c'est-à-dire d'augmenter  $R_{ms}$  (la résistance mécanique) ce qui a pour effet de réduire la réponse aux BF par sur amortissement ( $Q_t$  varie comme  $Re/(Bl)^2$  ).
- Soit de rechercher un compromis entre fréquence basse (ce qui implique une membrane entre fréquence basse (ce qui implique une membrane lourde) et faible rendement, en adoptant un petit diamètre de HP dans un petit coffret . Dans ce cas , on doit se préoccuper de l'aptitude d'une petite membrane à restituer le niveau acoustique souhaité jusqu'à la plus basse fréquence possible .

$$F^o = Fr. (1 + Cas/Cab )^{0,5}$$

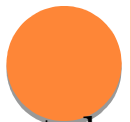
$Cas$ : élasticité du HP

$$Cab = \frac{V_c}{\rho \cdot C^2}$$

$$\alpha = Cas/Cab = V_{as}/V_b$$

d'optimisation du couple HP+ caisson

$\alpha$  apparait comme le critère fondamental



rendement

$$\eta = \frac{4 \pi^2 \cdot f^3 \cdot \alpha \cdot V_c}{C^3 \cdot Q_e (\alpha + 1)}$$

La conclusion à cet égard est que la formule de l'enceinte close reste réservée à des HPs à très basse fréquence de résonance (<30Hz) , de diamètre pas trop grand si on veut conserver le bénéfice d'une fréquence de coupure <60Hz avec un volume d'enceinte raisonnable.



# L'ENCEINTE À ÉVENT:

Dans les années 50, l'invention du transistor change la donne .  
L'accroissement de la puissance des amplificateurs met au clou les pavillons et permet d'envisager d'autres façons de mettre en œuvre les HP de grave.

La Bass-Reflex est la plus souvent employé . Cette charge à recours à un résonateur de Helmholtz (évent) afin d'amplifier certaine basse fréquence et augmenté le rendement du caisson .

En pratique, il s'agit d'un tube qui , en fonction de son propre volume et celui de l'air contenu dans le caisson , résonne et obéissent à une équation

Pour cela il faut trouver la fréquence pour laquelle la charge résonne que l'on appelle fréquence d'accord .

L'intégration d'un évent résonateur à l'enceinte permet de renforcer le volume de basses fréquences sur une plage où le rendement du HP faiblit fortement . On gagne ainsi de précieux décibels , ce qui permet d'augmenter la sensibilité globale de l'enceinte sans atténuer celle des fréquences médium/aigu.





De plus , l'évent Bass-Reflex agit comme un filtre passe-haut et empêche le HP de reproduire des fréquences trop basses avec pour bénéfice une réduction de l'excursion de la membrane , et , incidemment une meilleure puissance .

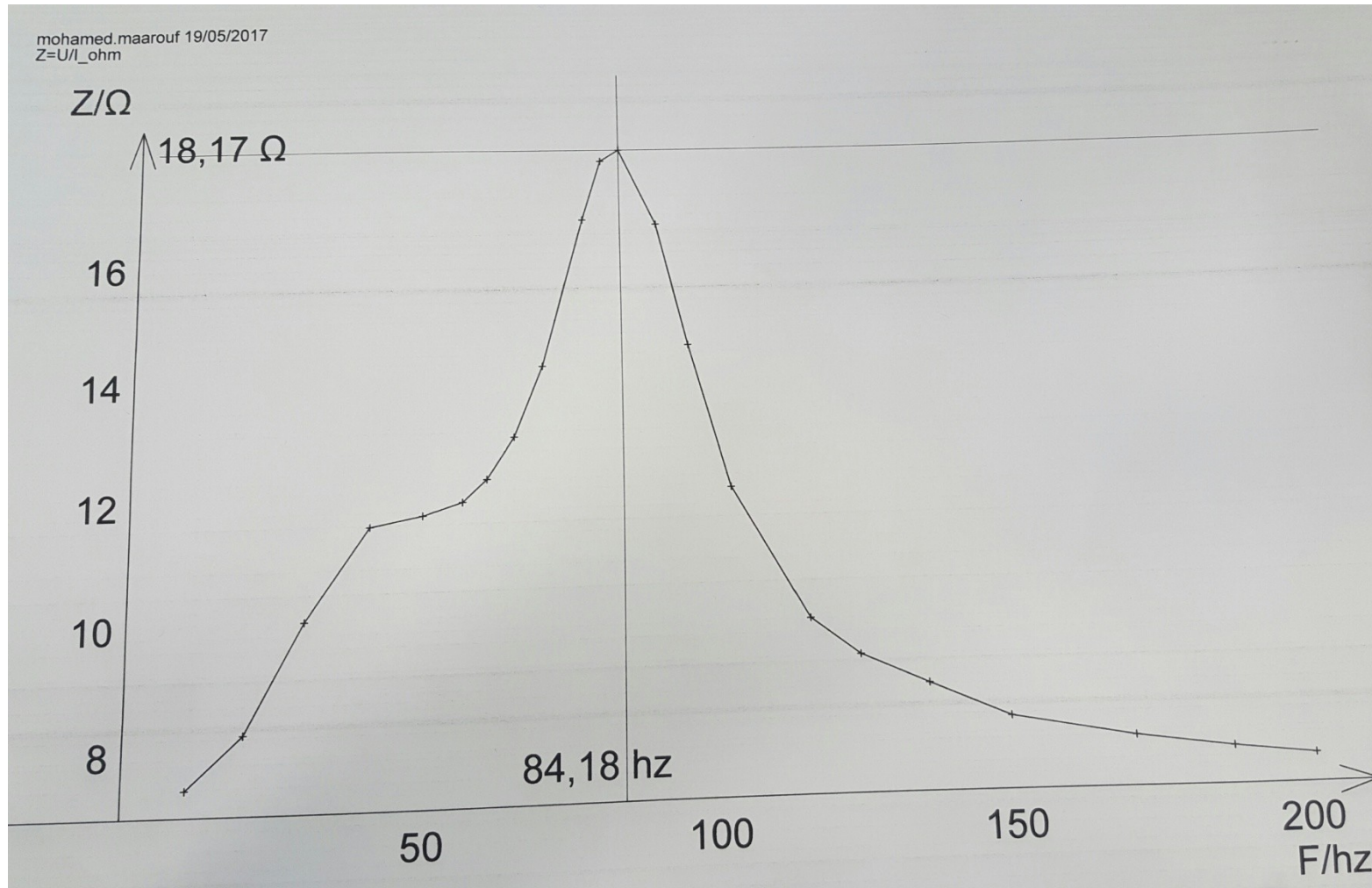
### **Le Bass-Reflex a-t-il des inconvénients ?**

Oui. Car le terme même de résonance le fait avec un incompressible retard , de telle manière que le régime transitoire diminue . Autrement dit, le grave « traine », avec à la clé des incidents de temporalités auxquels l'oreille est souvent sensible.

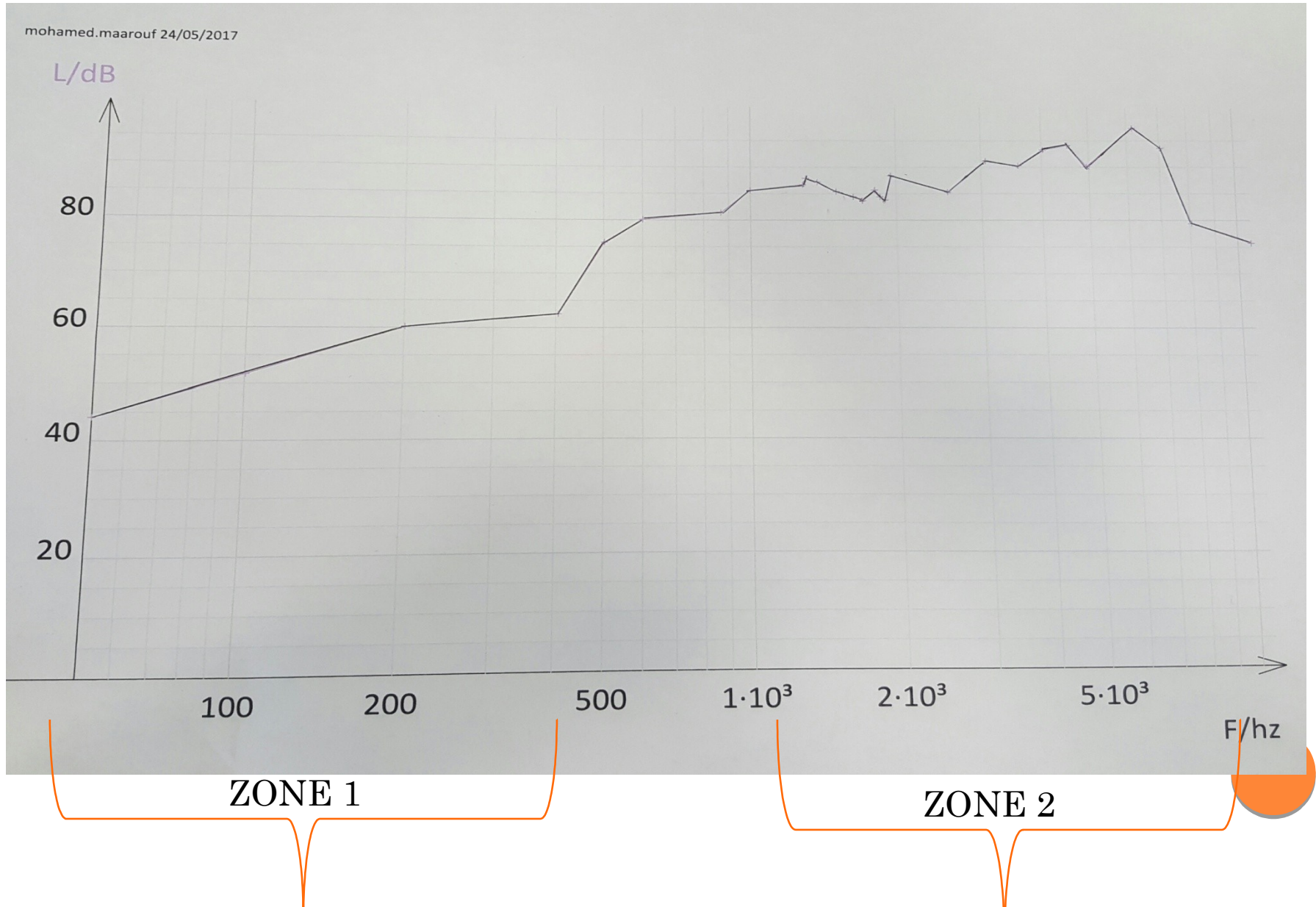
Autre inconvénient , la résonance engendre une élévation de l'impédance sur la plage de fréquences amplifiées par le résonateur et bien souvent une baisse d'impédance dans le haut grave.



# COURBE D'IMPÉDANCE EN FONCTION DE LA FRÉQUENCE POUR LE CAISSON CLOS



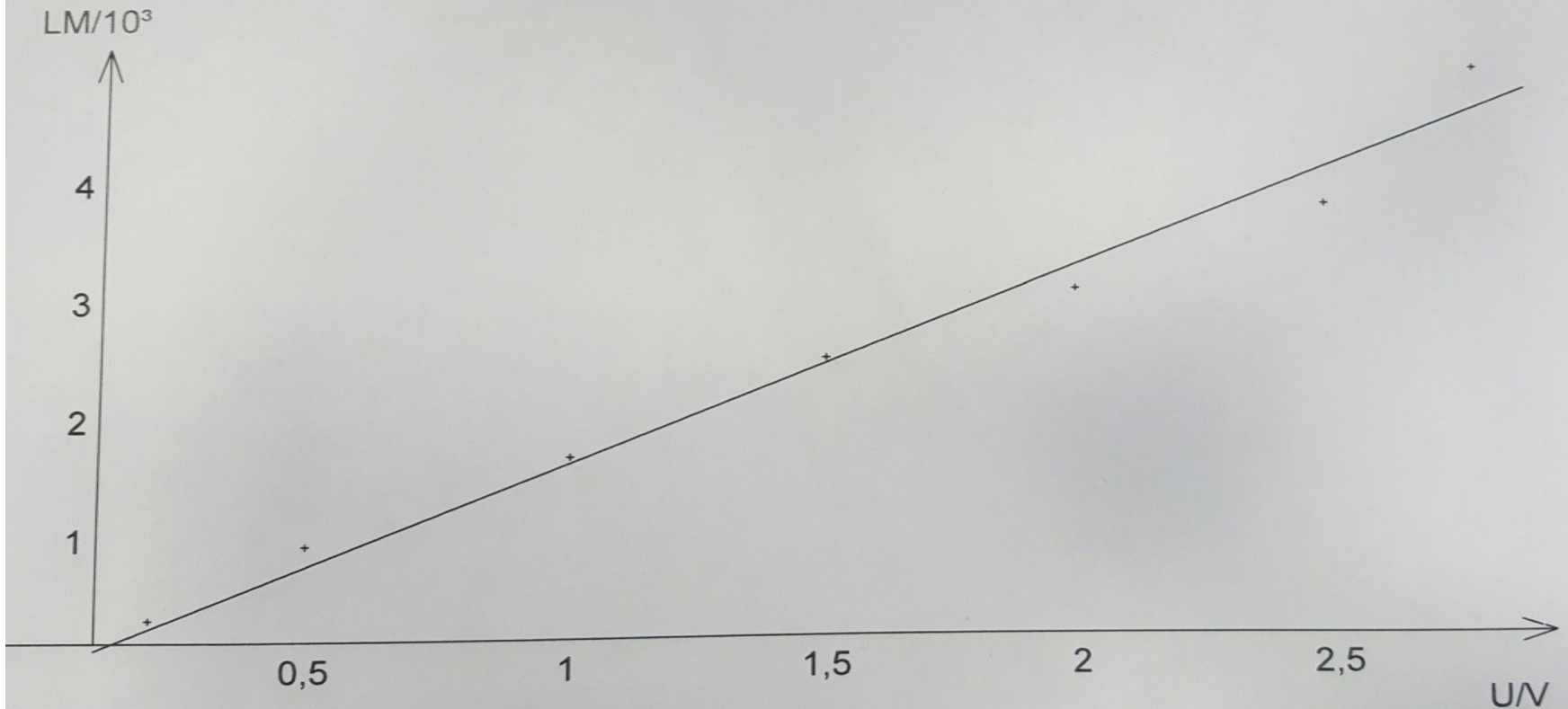
# COURBE DE RÉPONSE EN DB POUR LE CAISSON CLOS



# COURBE DE LINÉARITÉ POUR LE CAISSON CLOS:

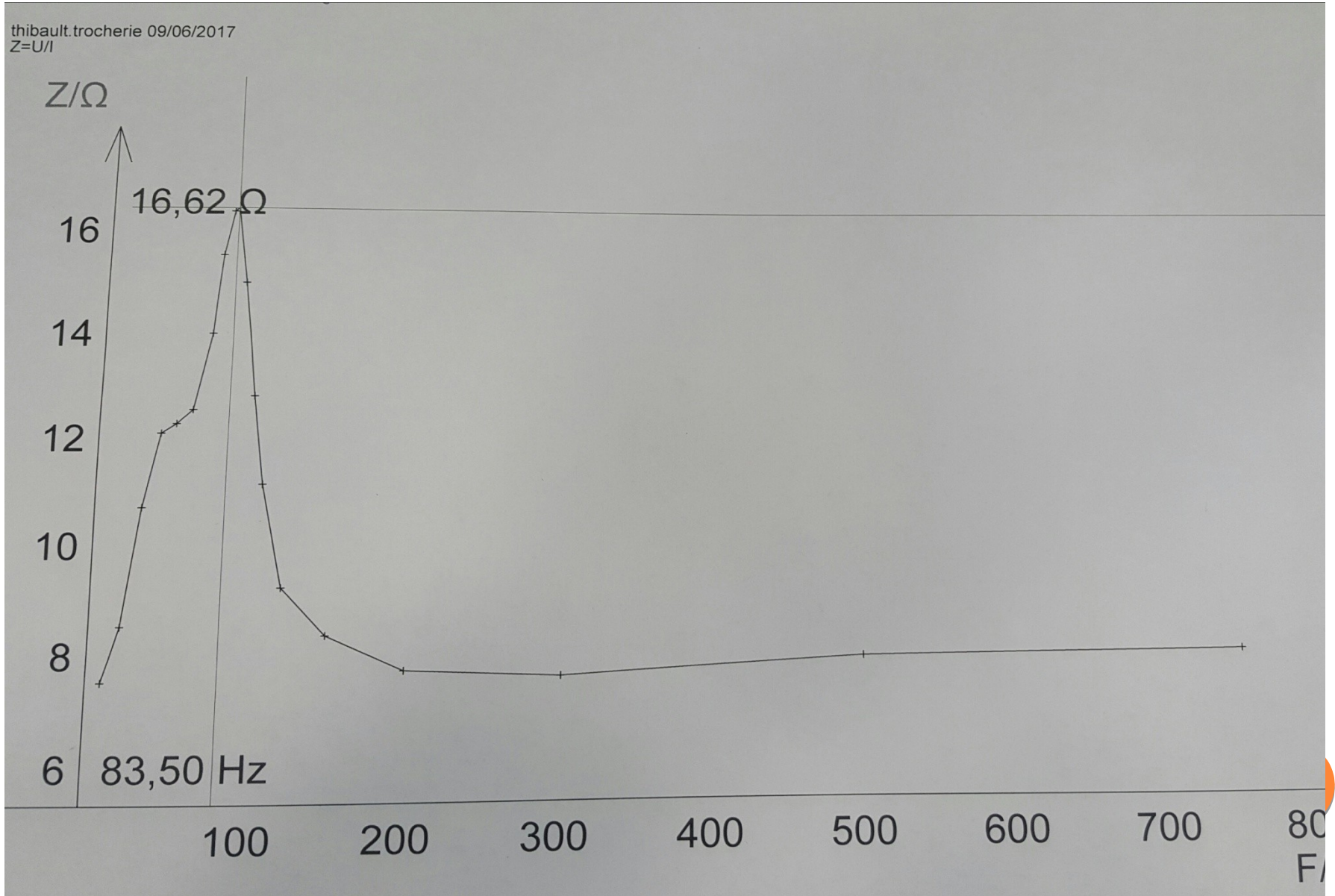
À  $F = 500\text{Hz}$

user 24/05/2017  
E:\TAHA THIBAUT TIPE closeLinéarité 500Hz.rw3  
Modélisation  
 $LM=a*U$





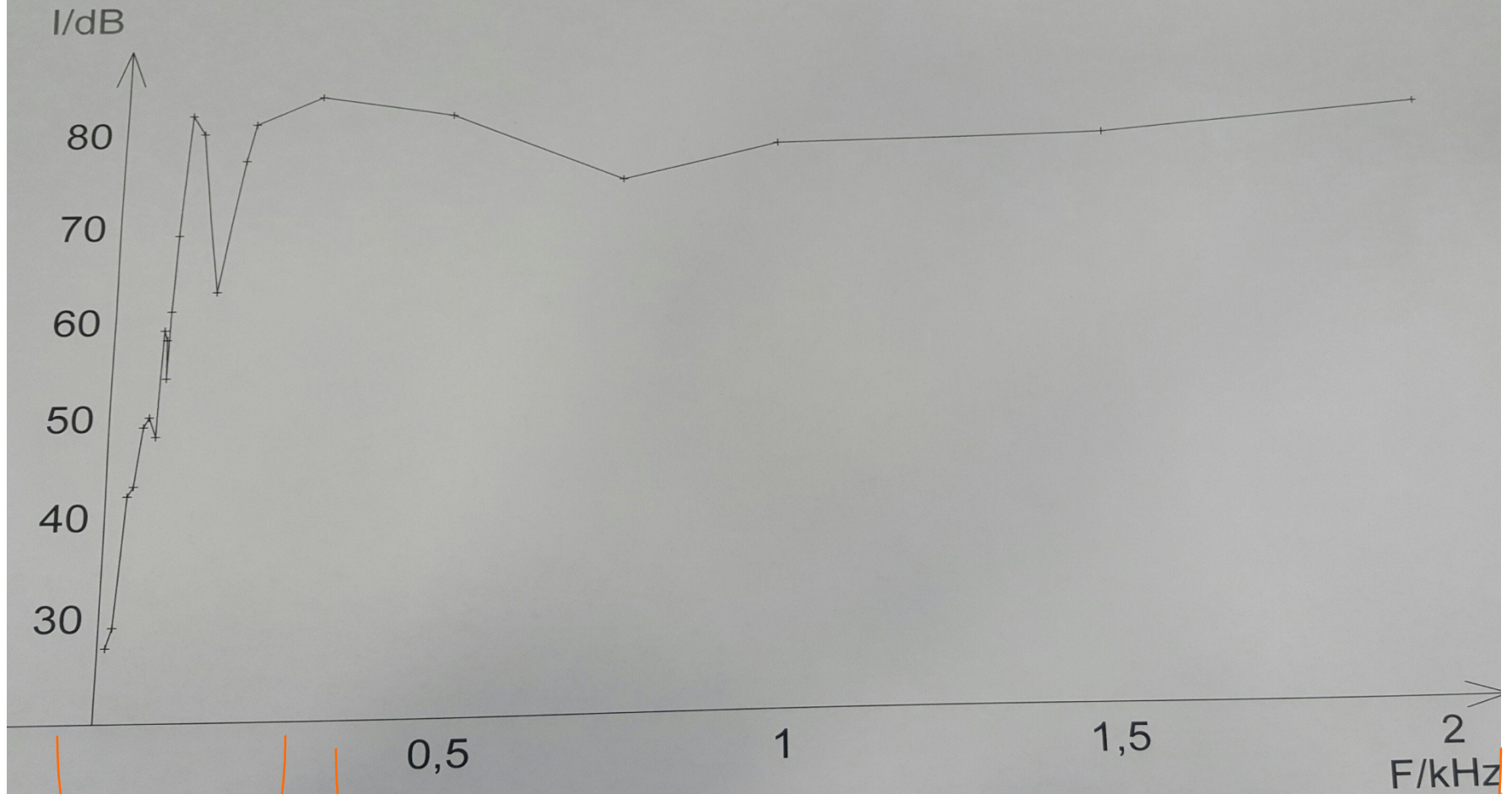
# COURBE D'IMPÉDANCE EN FONCTION DE LA FRÉQUENCE POUR LA BASS-REFLEX:





# COURBE DE RÉPONSE EN DB POUR LA BASS-REFLEX:

thibault.trocherie 09/06/2017



ZONE 1

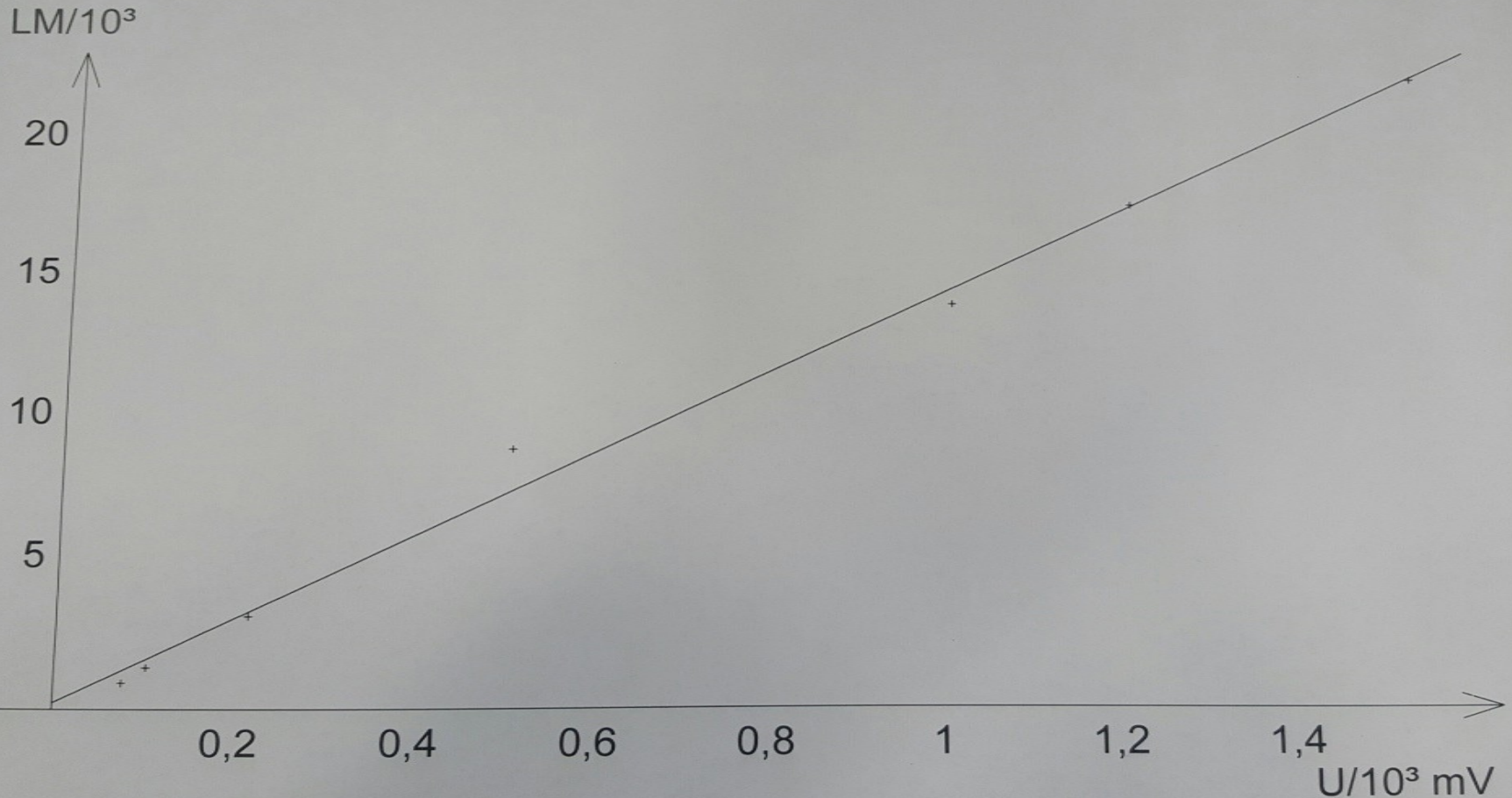
1

ZONE2

# COURBE DE LINÉARITÉ POUR LA BASS-REFLEX:

À  $F = 100\text{Hz}$

thibault.trocherie 09/06/2017  
\*100 Hz réponse BR  
 $LM = 10^{(I/20)}$   
Modélisation  
 $LM = a \cdot U + b$



# COMPARAISON:

On remarque que pour le HP seul , les fréquences en dessous de 100Hz ne dépassent pas les 30dB .Elles ne sont donc pas audibles .

## ❖ Comparaison entre HP seul et enceinte close:

A partir de la courbe de réponse du caisson clos on voit bien qu'on a gagné des précieux décibels que ce soit pour les mediums , les aigus ,mais surtout les graves , pour lesquelles on constate une augmentation du niveau sonore acoustique d environ 20dB .

Cette augmentation montre belle et bien le rôle du caisson qui consiste à éliminer le court-circuit acoustique .

## ❖ En revanche pour l'enceinte à évent on voit bien que cette charge se comporte comme un filtre pass-haut et on observe une bonne montée en puissance



Mais on note aussi un petit inconvénient car comme on le voit dans la courbe d'impédance du bass-reflex la résonance engendre une élévation de l'impédance sur la plage de fréquences amplifiées par le résonateur et une baisse d'impédance dans le haut grave. Ce qui conduit à augmenter la compliance  $C_{ms}$  , et de même la fréquence de résonance augmente .



# CONCLUSION:

La conclusion à cet égard est que la formule de l'enceinte close a un domaine d'utilisation très restreint , elle reste donc réservée à des HPs à très basses fréquences de résonance afin d'obtenir une fréquence de coupure raisonnable et par conséquent pouvoir entendre un spectre plus large de grave .

La bass-reflex par contre est plus favorable pour des utilisations dans lesquelles on privilégie la production des mediums et des aigus car elle se comporte comme un filtre passe-haut.

Donc pour pouvoir balayer l'ensemble du spectre de fréquence audible (20Hz-20KHz) , il est plus judicieux de construire une enceinte à évent constituée de deux haut-parleurs un qui serait compatible aux basses fréquences et un autre pour les mediums et les aigus .





Pour réaliser cela il faut mettre au point un circuit électrique qui se comporte en tant que filtre pour organiser la reproduction du son de chaque fréquence avec le HP qui lui convient .

**Fin.**

