

Analyse des variances du RECD sur base coupleur 2cc (F250 à F800) et du WRECD sur base coupleur 0,4cc (W250 à W8000) à l'aide du logiciel R

On pourrait s'interroger si le fait de mesurer le RECD sur base 0,4cc avec la chaîne de mesure Verifit2 réduit la variance par rapport à la base de mesure « traditionnelle » sur 2cc.

La variance, qui reflète en effet la « dispersion » de mesures, permettrait de donner une idée assez précise de la robustesse d'une mesure du RECD sur base 2cc par rapport à celui sur base 0,4cc que l'on pourrait penser (à tort ?) plus « fiable » car plus proche de la réalité du volume résiduel du CAE.

Bien qu'en première intention on puisse vouloir effectuer une ANOVA (ANalysis Of Variance), ce test statistique analyse en fait les moyennes, mais par le biais de leurs variances. Les moyennes étant forcément différentes dans le cas des RECD 2cc et 0,4cc, on préférera une analyse par paire des variances des mesures des RECD.

Nous allons d'abord analyser l'homogénéité des variances des mesures, puis les variances deux à deux pour chaque fréquence.

Tous les fichiers .txt et analyses cités dans cet article peuvent être téléchargés à l'adresse suivante :

<https://drive.google.com/drive/folders/0BykDqkML2u9hamN4NjZnSWWhMaVE?usp=sharing>

Base de travail sur le tableau de données « anovaRECDWRECD.txt » :

- Le facteur « score », noté SC dans le tableau représente le RECD, en dB
- Le facteur « groupe », noté GR dans le tableau représente la fréquence, de 250 à 8000Hz
 - Pour le sous-groupe RECD 2cc : de F250 à F8000
 - Pour le sous-groupe RECD 0,4cc : de W250 à W8000

Le tableau a deux colonnes, présentant sur chaque ligne un label définissant le groupe (ex : F500, W6000, etc.) et le « score » ou RECD correspondant.

Il y a 100 RECD mesurés à chaque fréquence en base 2cc et 100 RECD (appelés WRECD) en base 0,4cc, soient 100 RECD 2cc x 10 fréquences + 100 RECD 0,4cc x 10 fréquences = 2000 scores de RECD ou « SC » et 20 groupes fréquentiels ou « GR ».

Dans R, lire le tableau « anovaRECDWRECD.txt » :

```
a<-read.table("anovaRECDWRECD.txt", header=T)
attach(a)
```

Par exemple, pour avoir la moyenne à toutes les fréquences pour 2cc et 0,4cc :

```
tapply(SC, GR, mean)
```

```
F1000 F1500 F2000 F250 F3000 F4000 F500 F6000 F750 F8000 W1000 W1500 W2000 W250
 5.49  7.61  9.80  1.86 10.32 11.93  2.33 15.02  4.48 18.00 -6.98 -4.72 -3.44 -11.58
W3000 W4000 W500 W6000 W750 W8000
-2.99 -2.54 -8.59 -2.80 -7.84  1.27
```

Ou la variance :

```
tapply(SC, GR, var)
```

```
F1000 F1500 F2000 F250 F3000 F4000 F500 F6000 F750 F8000
```

```
8.313030 7.654444 7.353535 5.273131 8.260202 9.055657 8.890000 14.019798 11.100606 12.202020
W1000 W1500 W2000 W250 W3000 W4000 W500 W6000 W750 W8000
4.100606 3.819798 4.067071 5.922828 4.898889 6.291313 6.163535 15.636364 6.155960 25.209192
```

Il n'est pas possible (et souhaitable) de comparer directement les moyennes des RECD et WRECD : elles sont forcément différentes. Nous allons comparer les variances de ces deux mesures.

Le test de Bartlett permet de tester l'homogénéité (ou homoscedasticité) des variances. Il n'est utilisable que dans ce cas précis, car la distribution des RECD suit une loi normale (ou gaussienne) vérifiable par la commande `hist(SC)`.

Par exemple, pour avoir l'histogramme des RECD 0,4cc à 8000Hz :

```
hist(SC[GR=='W8000'])
```

Pour effectuer le test d'homogénéité des variances :

```
bartlett.test(SC, GR)
```

```
Bartlett test of homogeneity of variances
```

```
data: SC and GR
```

```
Bartlett's K-squared = 244.37, df = 19, p-value < 2.2e-16
```

L'hypothèse nulle (H_0) du test de Bartlett est que les variances sont égales entre les échantillons. Une p-value inférieure à 0,05 permet de rejeter l'hypothèse d'une variance égale, d'au moins deux échantillons.

La p-value de $2.2 \cdot 10^{-16}$ permet donc de rejeter l'hypothèse d'une homogénéité des variances du RECD et WRECD, sans comparer cependant les groupes fréquentiels entre eux.

Pour aller plus loin, la fonction `hovPlot()` du package R `HH`, permet un test statistique ou graphique d'homogénéité des variances.

Pour installer ce package dans R : `install.packages("HH")`

Pour le charger dans R : `library(package=HH)`

- Test statistique, avec le test d'homogénéité de Brown-Forsythe :

```
hov(SC~GR)
```

```
hov: Brown-Forsyth
```

```
data: SC
```

```
F = 11.475, df:GR = 19, df:Residuals = 1980, p-value < 2.2e-16
```

```
alternative hypothesis: variances are not identical
```

Hypothèse nulle H_0 : les variances sont identiques.

La p-value étant inférieure à 0,05, on rejette H_0 : les variances ne sont pas identiques, sans détail en fréquence.

- Graphique, avec le même test :

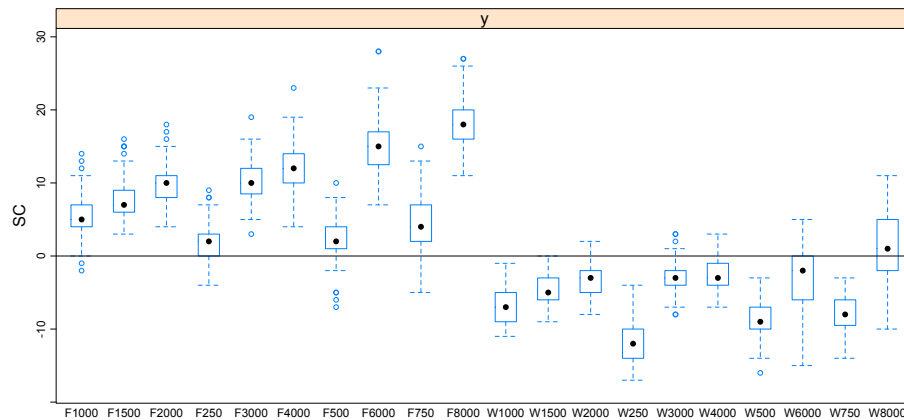
```
hovPlot(SC~GR)
```

On obtient un graphique avec trois sous-graphiques :

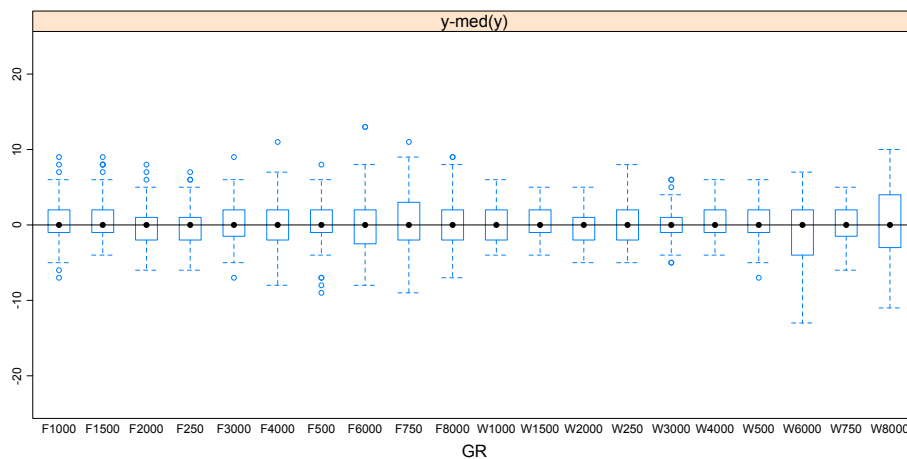
1. Graphique des données observées ou « y » correspond aux RECD 2cc et 0,4cc en fonction de la fréquence

2. Graphique des données des groupes de RECD auxquelles on a soustrait leurs médianes : « $y - \text{med}(y)$ »
3. Graphique des déviations absolues autour des médianes : « $\text{abs}(y - \text{med}(y))$ », qui sont donc toutes positives

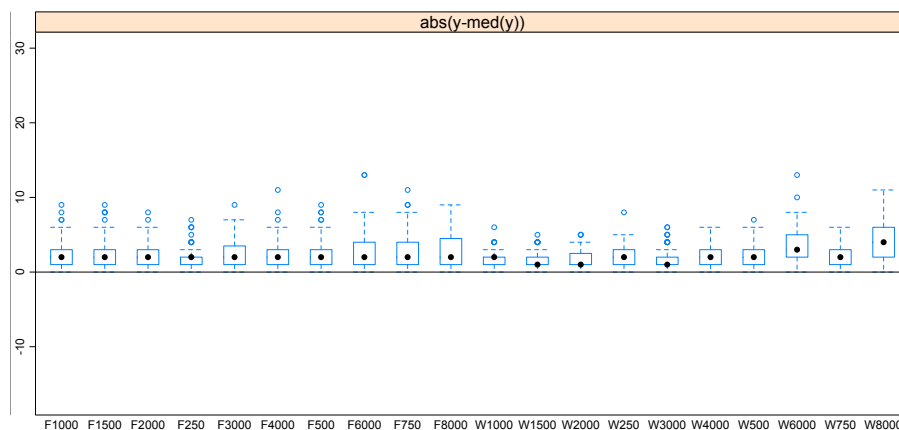
Graphique 1 (données brutes) :



Graphique 2 (données – valeurs des médianes) :



Graphique 3 (données – valeurs des médianes, en valeurs absolues) :



Ce dernier graphique va permettre, visuellement, de rechercher d'éventuelles fréquences présentant des différences de variance entre les RECD mesurés sur base 2cc et base 0,4cc. Les

variances ne semblent pas toutes homogènes = ne respectent le critère d'homoscédasticité ; on pourrait par exemple avoir des doutes à 1kHz, 1,5kHz et 3kHz.

Pour aller plus loin, nous allons comparer statistiquement deux à deux par fréquences les variances qui pourraient nous sembler différer à la vue du graphique précédent : il s'agit du test statistique F qui est un cas particulier (à deux échantillons) du test de Bartlett précédent.

- Par exemple à 8000Hz : nous allons copier les scores des groupes F8000 et W8000 dans deux variables, respectivement f8 et w8 :

```
w8<-SC[GR=='W8000']
```

```
f8<-SC[GR=='F8000']
```

Puis effectuer un test F :

```
var.test(f8, w8)
```

```
F test to compare two variances
```

```
data: f8 and w8
```

```
F = 0.48403, num df = 99, denom df = 99, p-value = 0.0003674
```

```
alternative hypothesis: true ratio of variances is not equal to 1
```

```
95 percent confidence interval:
```

```
0.3256760 0.7193826
```

```
sample estimates:
```

```
ratio of variances
```

```
0.4840306
```

La p-value (0,003674) est < 0,05. La variance des deux échantillons du RECD 2cc et 0,4cc à 8000Hz **diffère donc significativement**.

- A 6000Hz :

```
f6<-SC[GR=='F6000']
```

```
w6<-SC[GR=='W6000']
```

```
var.test(f6, w6)
```

donne une p-value de 0,5882 = non significative = les variances à 6000Hz sont identiques.

- A 750Hz :

```
w7<-SC[GR=='W750']
```

```
f7<-SC[GR=='F750']
```

```
var.test(f7, w7)
```

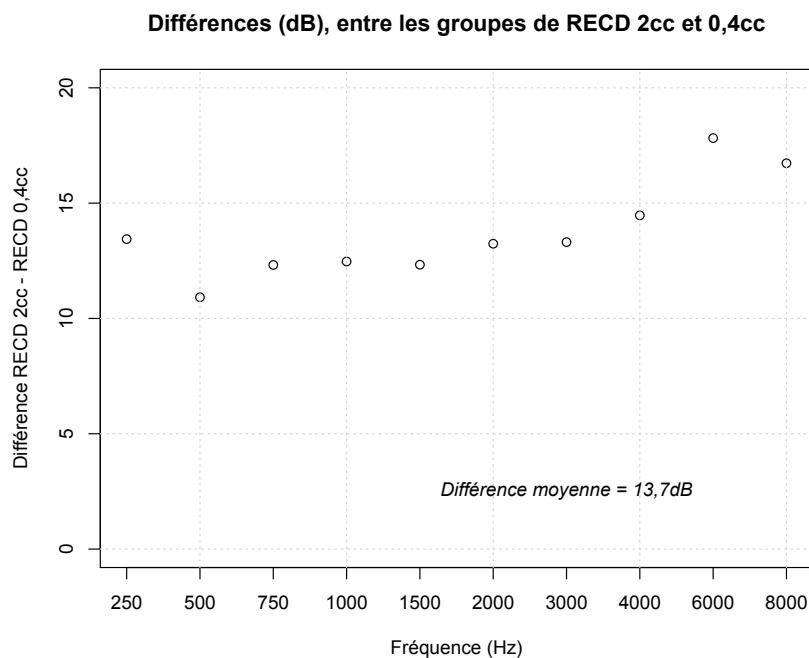
donne une p-value de 0,003673 < 0,05 = significative = **les variances différent**.

Fréq.	250	500	750	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000
Variances 2cc	5,27	8,89	11,10	8,31	7,65	7,35	8,26	9,06	14,02	12,20
Variances 0,4cc	5,92	6,16	6,15	4,10	3,81	4,06	4,89	6,29	15,63	25,20
p-value F TEST	0.5643	0.0699	0.003673	0.0005176	0.0006365	0.003523	0.009935	0.07147	0.5882	0.003674
SIGNIF.	NS	NS	**	***	***	**	**	NS	NS	**

Les variances des mesures sur base coupleur 0,4cc sont en général plus faibles que celles sur base coupleur 2cc, jusqu'à 6kHz, et de manière significative de 750 à 3000Hz. A contrario, la variance des mesures du RECD sur base coupleur de 0,4cc augmente nettement à partir de 8000Hz, et au-delà (28dB² à 10 et 12,5kHz) ; on peut émettre l'hypothèse d'une très grande importance de l'emplacement de la sonde à proximité du tympan à ces fréquences, souvent peu testées en audiologie prothétique. Il est très probable que le placement de la sonde à des distances trop importantes du tympan, même faiblement, fasse courir le risque d'une mesure dans un nœud de pression à ces fréquences élevées (8kHz et plus).

En conclusion, on ne peut pas affirmer que la mesure du RECD HA1 2cc soit moins fiable que la mesure du RECD HA1 0,4cc, mais l'usage de ce dernier coupleur permet des mesures plus homogènes (moins de variance) d'un patient (adulte) à un autre.

La différence entre les RECD moyens 2cc – 0,4cc, sur les les deux groupes de 100 oreilles/100 patients, donne :



Cette différence expérimentale moyenne de 13,7dB est conforme à l'estimation physique, puisque la loi de Boyle-Mariotte ($PV = nRT$) donne 14,1dB d'écart de pression acoustique entre un volume de 2cc et un volume de 0,4cc.

Le RECD 0,4cc statistique de DSL semble donc surévalué de quelques dB (donc prévoit un volume résiduel moyen inférieur à 0,4cc). Ce point serait à confirmer sur un nombre plus important de sujets.

Xavier DELERCE – avril 2017.