



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

UNIVERSITE HENRI POINCARÉ, NANCY I

FACULTE DE PHARMACIE

Le système EchoBloc : traitement du signal dans les milieux réverbérants



MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme d'Etat
d'Audioprothésiste

Par Varin Virgile

Novembre 2011

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier le fabricant PHONAK™, pour m'avoir permis de réaliser des études sur le système EchoBloc et pour avoir mis à ma disposition des aides auditives, documents, et renseignements, dans le but de m'aider à avancer dans ce mémoire.

Je remercie Monsieur DUCOURNEAU Joël, pour m'avoir aidé à réaliser les différents tests et pour avoir consacré du temps à la mise en place de protocoles d'analyses du système EchoBloc.

Egalement Madame DELLI-PIZZI Caroline, mon maitre de mémoire, pour m'avoir aidé dans mes recherches et pour m'avoir permis de tester les différents traitements lors de mes stages et pour m'avoir renseigné concernant les retours d'impression des patients.

Et enfin, Monsieur GAY Etienne, ancien maitre de stage, pour m'avoir mis en contact avec des patients motivés pour les tests.

SOMMAIRE

Introduction.....	1
Chapitre 1 : Notions d'acoustique	2
1.1 Notions sur les ondes acoustiques.....	2
1.2 Notions d'acoustique des bâtiments	7
1.3 Notions de réverbération.....	9
1.3.1 Analyse de l'énergie acoustique réverbérée.....	9
1.3.2 Calcul théorique du temps de reverberation (TR).....	12
1.3.3 La sensation de réverbération.....	15
1.4 Notions de clarté	18
1.4.1 Critère de clarté : indice C80	19
1.4.2 Critère de clarté : indice C50	20
1.5 Notions de spatialisation.....	20
Chapitre 2 : Le système EchoBloc par PHONAK™	21
2.1 Principe de fonctionnement	21
2.2 Etude comparative réalisée sur le système EchoBloc	24
Chapitre 3 : Test du système EchoBloc.....	26
3.1 Tests objectifs réalisés en salle de mesure.....	26
3.1.1 Mise en place d'un protocole de mesure.....	26
3.1.2 test avec un bruit blanc en signal sonore	32
3.1.3 Test avec émission d'un signal de parole.....	34
3.2 Tests subjectifs	39
3.2.1 Prise en compte du paramètre de clarté.....	39
3.2.2 Protocole de test sur des patients	41
3.2.3 Test en salle d'examen avec Listes de mots.....	41
3.2.4 Test en salle d'examen avec Listes de phrases	48
3.2.5 Tests en situation réelle, dans le hall de la faculté de pharmacie	50
3.3 Analyses phonétiques	55
Conclusion	59

INTRODUCTION

Depuis le mois de mai 2008, le fabricant d'aides auditives Phonak™ a lancé la sortie d'un nouveau microprocesseur, nommé CORE (Communication Real-audio Engine). Cette nouvelle plateforme de traitement du signal a amené de nouvelles options de réglages, notamment de nouveaux algorithmes de traitement visant l'amélioration de la compréhension dans divers environnements.

C'est le cas du système Windbloc, un algorithme adaptatif qui supprime le bruit du vent sans modifier les réglages du microphone. Le porteur est moins gêné sans que la compréhension en soit altérée. Il existe également le système EchoBloc, algorithme assurant une meilleure qualité d'écoute dans de grandes salles, des lieux de culte, des pièces aux parois réfléchissantes et autres milieux réverbérants.

La version du système EchoBloc actuelle est une version évoluée. Avec la sortie récente du nouveau logiciel d'appareillage Target™ de Phonak™, il est maintenant possible de gérer plus précisément le traitement EchoBloc. Les algorithmes de calcul de ce système ont été améliorés avec l'apparition de la nouvelle puce de traitement SPICE en 2011, remplaçante de la plate-forme CORE.

Cette technologie EchoBloc a été mise au point en réponse aux problèmes de compréhension en milieu réverbérant pour les porteurs d'aides auditives.

Après un rappel de quelques notions d'acoustique et sur le phénomène de réverbération plus particulièrement, nous nous pencherons sur le mode opératoire de l'algorithme du système EchoBloc. Le but de ce mémoire est de montrer comment ce système de traitement du signal fonctionne à l'aide de différents tests objectifs réalisés en salle de mesure. Nous testerons enfin l'efficacité du système EchoBloc pour la compréhension en milieu réverbérant, avec des patients, dans différentes situations sonores.

CHAPITRE 1 : NOTIONS D'ACOUSTIQUE

1.1 NOTIONS SUR LES ONDES ACOUSTIQUES

Lors de la production d'un signal sonore dans un local, divers phénomènes que l'on peut décomposer entrent en jeu. On désigne par champ acoustique la région de l'espace dans laquelle existent des ondes acoustiques. Plusieurs termes sont utilisés, avec plus ou moins de rigueur, pour désigner les différents types de champs acoustiques.

On considère l'émission d'un son bref, appelé une impulsion et émis par une source sonore dans un local. Le point de réception de ce son est une personne située dans ce local à un point fixe.

La première onde acoustique que va percevoir la personne est celle qui arrive directement de la source en ligne droite, sans obstacle : c'est le champ direct ou encore son direct.

« **Champ direct** : champ acoustique parcouru de façon prépondérante par les rayons sonores en provenance directe de la source. » [1]

Toutes les autres ondes sonores qui parviennent à la personne sont des ondes réfléchies par les parois du local et elles constituent le champ réverbéré ou encore les réflexions (figure 1.1).

« **Champ réverbéré** : champ acoustique parcouru de façon prépondérante par des rayons ayant subi une ou plusieurs réflexions. » [1]

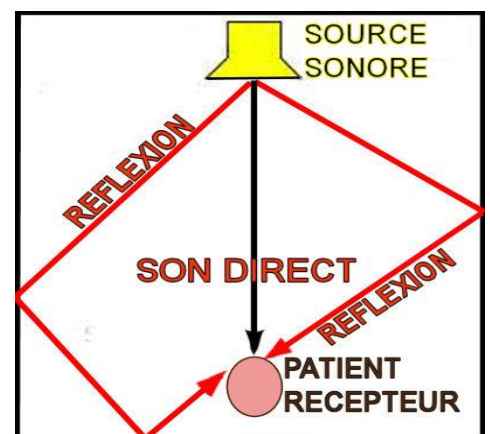


Figure 1.1 Emission d'un son dans un local

La combinaison du son direct et des différentes réflexions constitue la réponse impulsionnelle de la salle. Elle se décompose en trois parties : le son direct, les réflexions précoces et le champ diffus, comme le montre la figure 1.2.

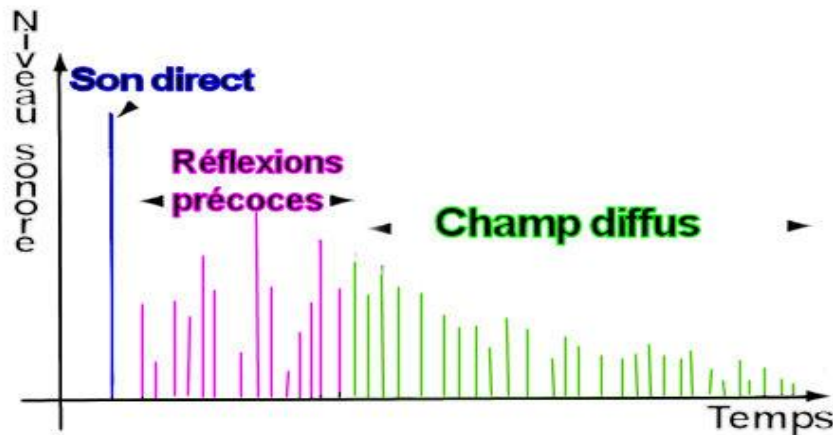


Figure 1.2 Réponse impulsionnelle d'un local [2]

Le son direct dépend des caractéristiques de la source sonore (c'est-à-dire sa puissance sonore et sa directivité) et de la distance entre la source et le récepteur. Les caractéristiques de la salle n'influencent pas le son direct. Les réflexions précoces suivent aussitôt le son direct, ce sont les premières réflexions et sont utiles à la compréhension. Elles sont suivies du champ diffus, qui diminue progressivement au cours du temps, jusqu'à ne plus être perceptible.

« **Les réflexions précoces** sont les réflexions qui arrivent au point de réception dans les 80 à 100 premières millisecondes qui suivent le son direct.

Champ diffus : champ acoustique parcouru par des rayons sonores sans qu'il soit possible de définir une direction privilégiée de propagation ; on trouve ce type de champ dans la plupart des locaux ; un champ réverbéré ou semi-réverbéré a des caractéristiques de champ diffus. » [3]

On différencie les réflexions précoces et le champ diffus par leurs répartitions temporelles. Pour les réflexions précoces, il n'y a pas de régularité dans les temps d'arrivées et dans les niveaux sonores des réflexions contrairement à celles du champ diffus qui vont en décroissant, comme le montre la figure 1.2.

Ces deux grandeurs dépendent des positions de la source sonore et du récepteur (la personne), mais également de la configuration des parois du local (sol, murs, parois

latérales...). On applique le terme de paroi non seulement aux murs, sols et plafonds, mais aussi à tous les matériaux se trouvant dans la salle : moquette, meubles, personnes.

Le champ diffus est lié au temps de réverbération (TR), c'est « le temps mis par un son réverbéré pour décroître de 60 décibels (dB) dans un local après extinction de la source sonore. » [4]

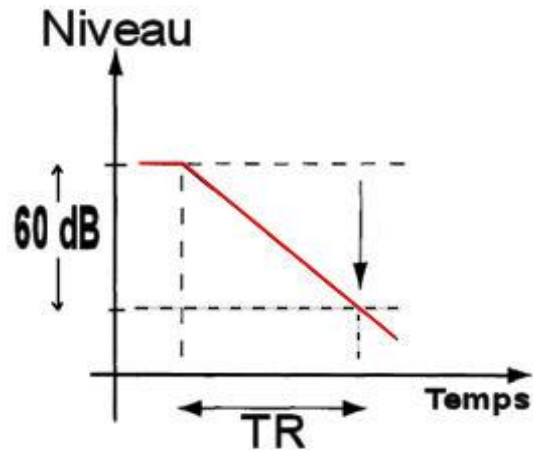


Figure 1.3 Définition du temps de réverbération [2]

« Dans un local clos, au-delà d'une certaine distance, le niveau de bruit résultant de la superposition de toutes les ondes réfléchies masque le champ direct. Dans un **champ diffus**, le niveau de bruit est constant et indépendant du point de mesure. » [2]

Le champ diffus est le résultat de l'énergie qui se décompose en rayons sonores qui partent de la source pour se réfléchir sur toutes les parois du local. Il ressort des précédentes définitions, quatre caractéristiques du champ diffus :

- Il est perçu un certain temps après l'arrivée du son direct,
- A un point fixe, l'intensité réverbérée décroît de manière exponentielle. Exprimée en décibel, cette décroissance devient linéaire (voir figure 1.3),
- Il est homogène, c'est-à-dire que son intensité est la même en n'importe quelle position dans le local,
- Il est chaotique, c'est-à-dire que les multitudes de réflexions proviennent de toutes les directions. À l'inverse, le son direct et les réflexions précoces proviennent d'une direction précise.

La réflexion d'une onde se produit selon certaines lois physiques ; ceci est valable pour les ondes sonores autant que pour les rayons lumineux.

Considérons une onde sonore qui frappe une paroi. « Si sa longueur d'onde est petite devant les dimensions de l'obstacle (donc pour les hautes fréquences), l'onde sonore se comporte comme une balle frappant un mur, ou comme un rayon lumineux frappant un miroir. » [2]

En optique géométrique, d'après la loi de Descartes, lorsqu'un rayon lumineux frappe un miroir avec un angle d'incidence i par rapport à la normale, il est réfléchi avec le même angle par rapport à cette droite. La normale est une droite imaginaire, perpendiculaire à la surface frappée, au point d'impact du rayon lumineux. Il s'agit de la même chose avec les ondes sonores, on parle d'acoustique géométrique. On modélise alors l'onde sonore par une droite qu'on appelle un rayon sonore.

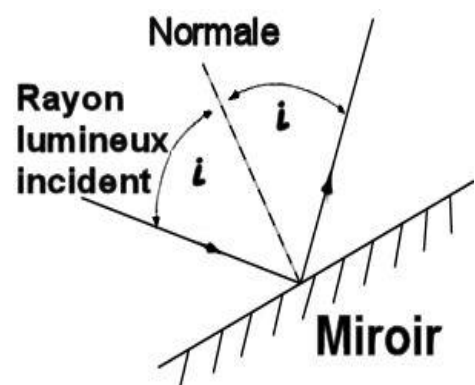


Figure 1.4 Loi de Descartes en optique [5]

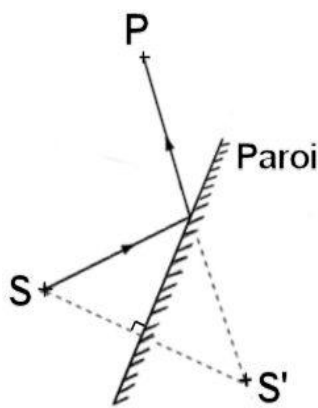


Figure 1.5 Réflexion spéculaire et source image [5]

Considérons une source S placée à proximité d'une paroi. Le récepteur (la personne) est placé en un point P . En acoustique géométrique, les rayons sonores subissent des réflexions spéculaires. Le son réfléchi semble provenir d'une source image S' , symétrique de la source S par rapport à la paroi.

Une réflexion est diffuse, ou chaotique, si l'onde incidente est réfléchie selon de multiples directions. C'est le cas pour le champ diffus qui nous intéresse dans l'objectif de ce mémoire.

« **Une réflexion chaotique** est produite par une surface diffusante qui présente des irrégularités dont les dimensions sont de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde de l'onde incidente. Ces réflexions proviennent de directions multiples, et se mélangent de façon chaotique. » [6]

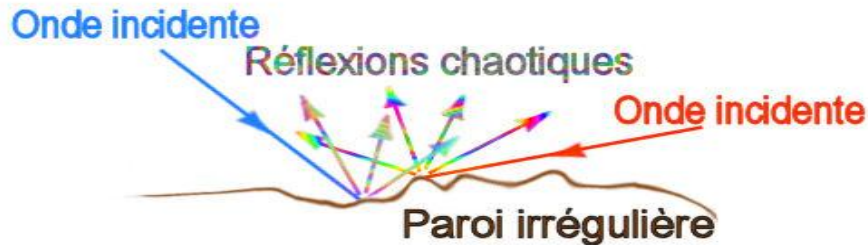


Figure 1.6 Réflexions d'ondes chaotiques

Lorsque l'onde sonore incidente percute une paroi qui présente des aspérités, la dimension de ces irrégularités et la longueur d'onde de l'onde incidente jouent un rôle déterminant. En effet, si leur ordre de grandeur est le même, alors la réflexion est diffuse comme le montre la figure 1.6, et si leur ordre de grandeur n'est pas le même, alors cela donne une réflexion spéculaire, comme dans le cas de la figure 1.5.

Dans une salle, une bonne diffusion des ondes sonores accentue l'impression de baigner dans le son.

Le coefficient d'absorption d'une salle n'influe pas sur le nombre de réflexions, mais uniquement sur le niveau sonore de ces dernières. Cette notion d'absorption fait partie du domaine de l'acoustique du bâtiment.

1.2 NOTIONS D'ACOUSTIQUE DES BATIMENTS

Les phénomènes physiques qui interviennent dans l'acoustique des bâtiments sont :

- les réflexions multiples du son sur les parois des locaux qui constituent la réverbération, définie comme la persistance du son dans un espace clos après interruption de la source sonore,
- la transmission des sons et des excitations mécaniques par les structures.

Un bâtiment est constitué de parois : murs, plafond, sol. Lorsqu'une onde sonore frappe une paroi, elle se décompose en trois parties (figure 1.6).

« Lorsqu'une onde sonore rencontre une paroi, une partie de l'énergie est absorbée : c'est le phénomène d'absorption acoustique. Une certaine quantité d'énergie est alors transformée en chaleur. Pour cela, il faut que l'énergie acoustique de l'onde provoque la vibration d'un corps matériel. » [6]

Une partie en général importante de son intensité (ou de son énergie) est réfléchi contre une paroi et revient dans le local où se trouve la source sonore. L'énergie réfléchi participe au phénomène de réverbération, c'est ce que nous avons vu précédemment sur la réflexion des ondes sonores.

Une partie très faible est transmise à travers le matériau, de l'autre côté de la paroi.

Une dernière partie est absorbée. Cette absorption est une transformation de l'énergie acoustique en énergie mécanique (des mouvements, déplacements, vibrations) et parfois calorifique. Elle a lieu essentiellement en surface du matériau. Les énergies acoustiques sont toujours extrêmement faibles, les manifestations du phénomène sont humainement imperceptibles.

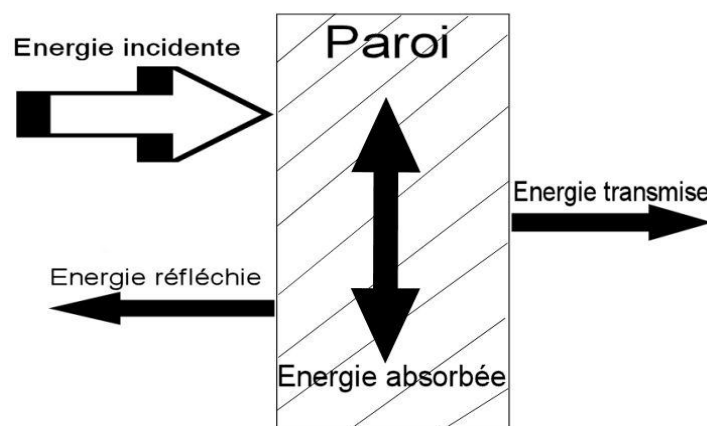


Figure 1.6 Bilan énergétique d'un impact [6]

Ce bilan énergétique nous permet de comprendre le phénomène d'atténuation progressive du champ diffus.

Lorsque l'on émet un son dans un local dont les parois n'ont pas reçu de traitement particulier, les rayons sonores issus de la source ne sont complètement atténués qu'après avoir subi plusieurs réflexions contre les parois. Comme le montre la figure 1.6, l'énergie du rayon sonore diminue jusqu'à disparaître, par absorption ou transmission vers l'extérieur, lors de chaque impact sur une paroi, à chaque réflexion.

Pour augmenter cette atténuation, nous pouvons soit augmenter l'absorption à chaque impact, soit multiplier le nombre d'impacts.

Le facteur d'absorption, appelé coefficient d'absorption α , est un nombre sans dimensions, compris entre 0 et 1. C'est le rapport entre l'énergie acoustique absorbée et celle reçue.

Quand il est évalué à 1, l'énergie absorbée est égale à l'énergie reçue, autrement dit, que toute l'énergie reçue a été absorbée. C'est ce qui se produit dans d'une chambre sourde par exemple. C'est une pièce revêtue de matériaux très absorbants, tout son émis y est totalement absorbé.

Quand le coefficient est de 0, l'énergie acoustique est entièrement réfléchie. L'absorption est nulle et la pièce est alors très réverbérante.

En fonction de ce taux d'absorption, le niveau sonore des réflexions est donc plus ou moins important, ce qui implique que la réverbération est plus ou moins perceptible et donc gênante pour la compréhension. Cela explique en partie les problèmes rencontrés par certains patients lors de changements de pièces. Chaque pièce présente un taux d'absorption propre.

Si les parois d'une salle sont constituées de n surfaces ($S_1, S_2, S_3, \dots$) recouvertes de matériaux différents de coefficients d'absorption respectifs ($\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots$), alors « le coefficient d'absorption moyen de la salle est défini par la moyenne arithmétique de ses différents coefficients d'absorption » [2] :

$$\bar{\alpha} = \frac{\alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \alpha_3 S_3 + \dots}{S_1 + S_2 + S_3 + \dots} \quad (1.1)$$

1.3 NOTIONS DE REVERBERATION

Après avoir expliqué les différentes étapes de la création d'un son réverbéré, de son parcours et de sa composition, nous abordons maintenant l'analyse de la réverbération et notamment celle relative au système EchoBloc. Nous commençons par l'analyse de l'énergie dont est composée la réverbération.

1.3.1 ANALYSE DE L'ÉNERGIE ACOUSTIQUE RÉVERBÉRÉE

1.3.1.1 LES TROIS PHASES DU SON REVERBERE

Soit un haut-parleur dans une salle. À $t = 0$, on branche l'alimentation électrique. La puissance délivrée par le haut-parleur est maintenue constante un certain temps, puis on coupe l'alimentation électrique. S'en suivent trois phases (figure 1.7)

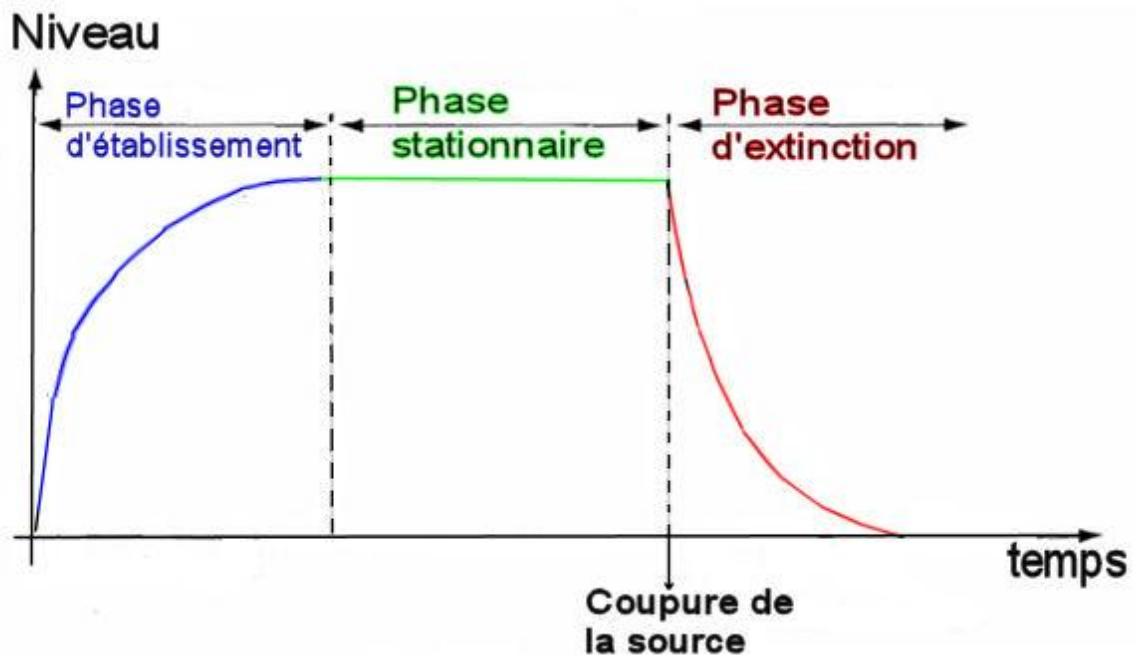


Figure 1.7 Les 3 phases d'un son réverbéré [2]

La première phase est l'établissement du son réverbéré, son niveau augmente progressivement dans la salle.

La seconde phase est la phase stationnaire, où le niveau réverbéré reste constant.

Enfin la dernière est la phase d'extinction, pendant laquelle le son réverbéré diminue progressivement en fonction du temps de réverbération jusqu'à devenir inaudible.

1.3.1.2 INTENSITE ACOUSTIQUE D'UN SON REVERBERE

« L'intensité acoustique au point M à l'instant t est le flux d'énergie traversant l'unité de surface centrée sur M par unité de temps. Elle s'exprime en watts par mètres carrés (W/m²). » [7]

L'intensité acoustique I_d du son direct, à la distance r d'une source de puissance W et de facteur de directivité Q est :

$$I_d = \frac{Q \cdot W}{4\pi r^2} \quad (1.2) \text{ (C'est l'intensité relative au champ direct)}$$

Q est le facteur de directivité. *« C'est le rapport de l'intensité émise dans l'axe de la source à la distance r sur l'intensité moyenne à la distance r en tenant compte de toutes les directions. On peut dire que l'intensité moyenne correspond aussi à l'intensité émise par une source omnidirectionnelle de même puissance que la source directive à la distance r . » [2]*

L'intensité sonore I_r du champ réverbéré, qui elle ne dépend pas de la distance r , s'exprime de la façon suivante :

$$I_r = \frac{4W}{\sigma} \quad (1.3)$$

$$\text{Avec } \sigma = \frac{S \cdot \bar{\alpha}}{1 - \bar{\alpha}}$$

Avec σ qui représente la constante d'absorption du local (en m²).

En chaque point du local, l'intensité sonore globale I est la somme de ces deux intensités sonores, on obtient la formule :

$$I = I_d + I_r \quad (1.4)$$

$$L_I = L_W + 10 \lg \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{\sigma} \right) \quad (1.5)$$

Avec L_W le niveau de puissance acoustique de la source.

Loin de la source $r \rightarrow \infty$, le champ direct devient négligeable devant le champ réverbéré, la formule du niveau d'intensité totale devient :

$$L_I \approx L_W + 10 \lg \left(\frac{4}{\sigma} \right) = L_W - 10 \lg \sigma + 6 \quad (1.6)$$

D'après la formule (1.2), seule l'énergie du son direct décroît, de 6 dB à chaque doublement de distance, ce qui entraîne une décroissance du rapport champ direct sur champ réverbéré d'une part et d'autre part, cela implique qu'à une certaine distance appelée distance critique, le champ direct devient plus faible que le champ réverbéré.

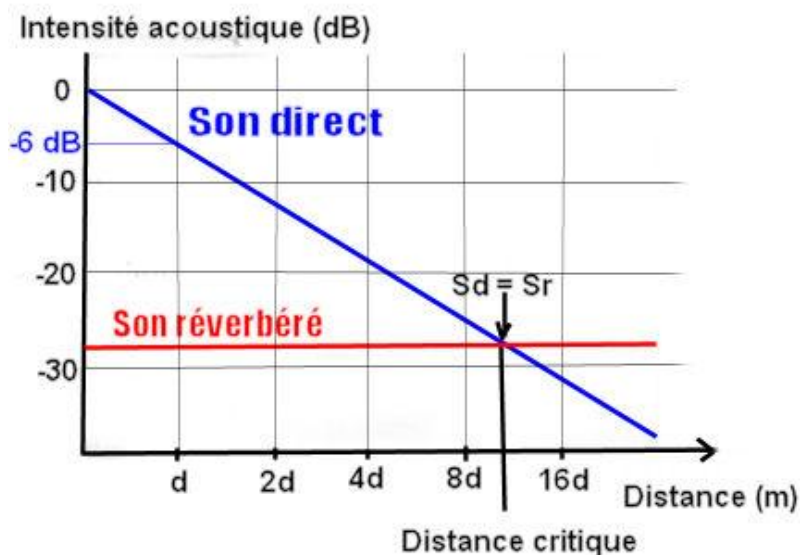


Figure 1.8 Comportement du champ direct (S_d) et du champ réverbéré (S_r) [8]

Le champ total est le seul qui soit mesuré concrètement. Cependant quand on se situe à une distance supérieure à la distance critique, on suppose généralement que le champ total est approximativement égal au champ réverbéré.

Au-delà de cette distance, l'intensité sonore résultante provient essentiellement de la réverbération.

Il est intéressant de connaître pour chaque local la distance critique d_c pour laquelle l'intensité directe est égale à l'intensité réverbérée. On peut donc la calculer à partir des formules (1.2) et (1.3) :

$$\frac{Q}{4\pi d_c^2} = \frac{4}{\sigma} \quad (1.7)$$

$$\text{Soit : } d_c = \sqrt{\frac{Q\sigma}{16\pi}} \quad (1.8)$$

1.3.2 CALCUL THEORIQUE DU TEMPS DE REVERBERATION (TR)

Il existe plusieurs formules théoriques du temps de réverbération avec chacune leurs avantages et inconvénients. Tout d'abord la formule de Sabine, qui est la formule la plus utilisée.

On peut montrer que le temps de réverbération vaut [2] :

$$TR = \frac{0,16 V}{A} \quad (1.9)$$

$$\text{Avec } A = S_{\text{tot}} \bar{\alpha}$$

$$\text{Et } \bar{\alpha} = \frac{1}{S_{\text{tot}}} (S_1 \alpha_1 + \dots + S_i \alpha_i + \dots + S_n \alpha_n)$$

Où :

TR = le temps de réverbération (en seconde),

V = le volume de la salle (en m³),

A = l'absorption totale de la pièce (en m²) ou aire équivalente d'absorption de la pièce,

S_i = l'aire respective de chaque surface i (en m²),

α_i = le coefficient d'absorption acoustique respectif de chaque surface i.

Ceci signifie que dans une même pièce, une surface acoustique de 50 m² avec une absorption acoustique de 0,5 aura un temps de réverbération similaire à une surface acoustique de 25 m² avec une absorption acoustique de 1,0.

Cependant cette formule a des limites. Si le coefficient d'absorption est très faible (environ 0), l'absorption de la salle tend vers une valeur nulle ($\bar{\alpha} \rightarrow 0$). Le TR tend alors vers une très grande valeur ($TR \rightarrow \infty$) ce qui est effectivement le cas dans une salle très réverbérante.

À l'inverse, si la salle est très absorbante, le coefficient d'absorption tend vers 1. Dans ce cas, A tend vers S (surface de la salle) et le TR tend vers la valeur : $TR = 0,16V/S$. Cela n'est pas logique, car la salle absorbant toute l'énergie sonore, le TR devrait être nul. Ce résultat révèle les imperfections de la théorie de Sabine.

En fait, cette formule est fondée sur l'hypothèse d'un champ réverbéré uniformément réparti dans la salle. Or, pour que cela soit rigoureusement exact, il faut que la salle soit suffisamment réfléchissante. C'est pourquoi la théorie de Sabine donne des résultats d'autant moins valides que la salle est absorbante.

« En pratique on utilise la formule de Sabine lorsque le coefficient d'absorption moyen de la salle est inférieur à 0,2. Pour les salles plus absorbantes, il est préférable de calculer le TR en utilisant la formule d'Eyring. » [9]

Pour certaines salles très absorbantes, les hypothèses d'homogénéité du champ réverbéré ne sont pas toujours vérifiées. Le modèle de Sabine n'est alors plus valable. *« Le modèle d'Eyring quantifie l'évolution du champ réverbéré au fur et à mesure des réflexions. » [10]*

La formule théorique du temps de réverbération selon Eyring est [2] :

$$TR = - \frac{0,16 V}{S \cdot \ln(1 - \bar{\alpha})} \quad (1.10)$$

Si l'absorption de la salle est très faible, $\bar{\alpha} \rightarrow 0$, alors $\ln(1 - \bar{\alpha}) \rightarrow 0$ et donc $TR \rightarrow \infty$ comme dans la formule de Sabine, ce qui est cohérent.

Si l'absorption est très forte, $\bar{\alpha} \rightarrow 1$ alors $\ln(1 - \bar{\alpha}) \rightarrow -\infty$ et donc $TR \rightarrow 0$. Le résultat est également cohérent puisque si la salle absorbe toute l'énergie réverbérée, le TR est nécessairement nul (alors que la formule de Sabine donnait une valeur aberrante).

Considérons une salle de dimensions $25 \times 15 \times 10 \text{ m}^3$. Calculons le TR par la formule de Sabine et par la formule d'Eyring pour les valeurs suivantes de $\bar{\alpha}$: 0.1, 0.2, 0.4 et 0.8. Et calculons ensuite leurs écarts relatifs.

α	TR Sabine (TRs)	TR Eyring (TRe)	(TRs-TRe)/TR
0.1	3.87	3.67	5%
0.2	1.93	1.73	10%
0.4	0.97	0.76	21%
0.8	0.48	0.24	50%

Tableau n°1 : Comparaison des calculs de TR entre les formules de Sabine et Eyring.

On voit que la formule de Sabine surestime le temps de réverbération, et ce d'autant plus que $\bar{\alpha}$ est fort. Expérimentalement, on constate que la formule d'Eyring est plus proche de la réalité pour les salles très absorbantes que la formule de Sabine.

1.3.3 LA SENSATION DE REVERBERATION

Attardons nous maintenant sur la sensation de réverbération : qu'est ce qui nous donne cette impression de réverbération et à partir de quel moment la ressent-on ?

Dans un local, un phénomène d'écho est perçu, lorsque l'onde directe et l'onde réverbérée ont un décalage temporel supérieur à 50 millisecondes (ms) ; pour les durées inférieures, la superposition du champ direct et du champ réverbéré ne crée pas d'écho perceptible et le son réfléchi renforce le champ direct.

Une étude du professeur Jacques JOUHANEAU explique que :

« Un temps de réverbération optimal est de l'ordre de 0,5 seconde pour une bonne compréhension. Un temps de réverbération excessif nuit à l'intelligibilité. A l'opposé, un temps trop court étouffe les sons, ce qui est également désagréable, oppressant. » [10]

« La limite du phénomène de fusion, qui donne de la superposition de l'onde directe et de l'onde réfléchie une image unique, est d'environ 50 ms. Au-delà, l'oreille distingue deux sons décalés dans le temps: il y a écho. » [10]

Un auditeur, se trouvant en un point quelconque du local, est soumis aux rayons en provenance directe de la source (champs direct) et aux rayons ayant subi une ou plusieurs réflexions (champs réverbéré).

Lorsque le rayon réfléchi est perçu avec un retard inférieur à 50 ms, sur le rayon en provenance directe de la source, on ne constate pas d'effet auditif particulier et l'énergie réfléchie s'ajoute à l'énergie directe; dans des locaux de dimensions petites, les rayons sonores n'ayant subi qu'une ou deux réflexions se trouvent dans ce cas. Pour un local de plus grande taille avec des parois lisses, les réflexions multiples sont perçues comme une trainée sonore.

Lorsque la trainée sonore a une durée suffisamment longue pour être nettement perçue, la salle est dite réverbérante. A l'inverse, un local est dit sourd ou anéchoïque lorsque le son n'est pas réfléchi par les parois qui absorbent, à chaque impact, une partie importante ou la totalité de l'énergie sonore incidente. Le champ réverbéré est donc inexistant et le champ acoustique dans le local a les caractéristiques d'un champ direct.

En résumé, lorsque deux sons identiques nous parviennent avec un décalage temporel, nous n'en entendons qu'un seul si le décalage est très court (quelques millisecondes) et nous les percevons séparés s'il est plus grand. La différence de niveau sonore entre le son initial et le son réverbéré influe aussi sur cette perception. Plus la différence d'intensité est grande, moins nette est la séparation.

On appelle écho une séparation évidente, lorsque le décalage en temps est élevé et la différence de niveau faible.

L'effet est bénéfique pour la perception si nous n'entendons qu'un seul son "gros" par l'ajout temporel et négatif si notre oreille fait une distinction et en perçoit deux.

La réverbération courte est intéressante mais pas la réverbération longue. Les réflexions sur des surfaces proches de la source sonore ont un effet positif sur la perception, celles sur des surfaces lointaines, surtout si elles sont isolées et importantes, un effet négatif.

Lorsque la trainée sonore due à la réverbération est perceptible, au message vocal reçu directement du locuteur se superposent des échos multiples qui procurent une sensation auditive désagréable, mais, pour un normo-entendant, dont les capacités de discrimination temporelle et de sélectivité fréquentielle sont intactes, l'intelligibilité de la parole subsiste.

La parole n'est qu'une succession de sons différents, de variations temporelles complexes. La rapidité des variations est très dépendante de l'orateur ou du style de musique. La réverbération modifie la perception pour un auditeur de ces variations. Voyons son influence sur un son simple.

Soit un signal sonore, représentant les paroles d'un orateur dans une salle avec un temps de réverbération faible (figure 1.9)

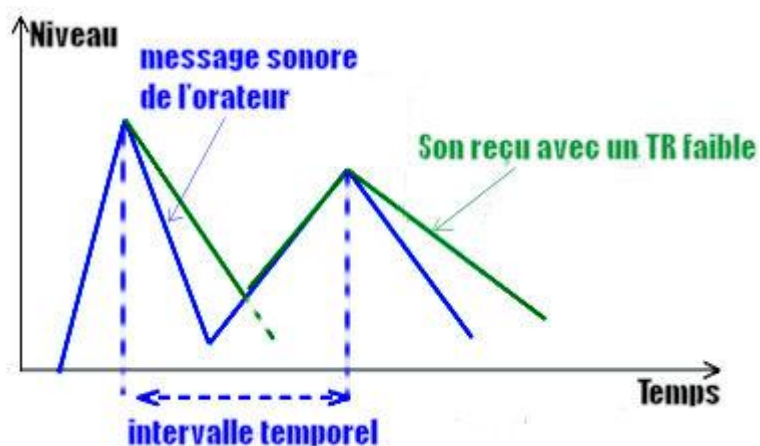


Figure 1.9 Schéma d'un message vocal reçu avec un TR faible

Avec un TR faible, le premier signal élémentaire émis "traîne" un peu mais a déjà beaucoup diminué lorsque le deuxième est émis. On distingue bien les deux signaux, il y a donc un décalage temporel assez faible et une différence de niveau sonore marquée. L'intelligibilité du message est correcte.

Prenons maintenant le même exemple mais dans une salle avec un TR plus élevé (figure 1.10).

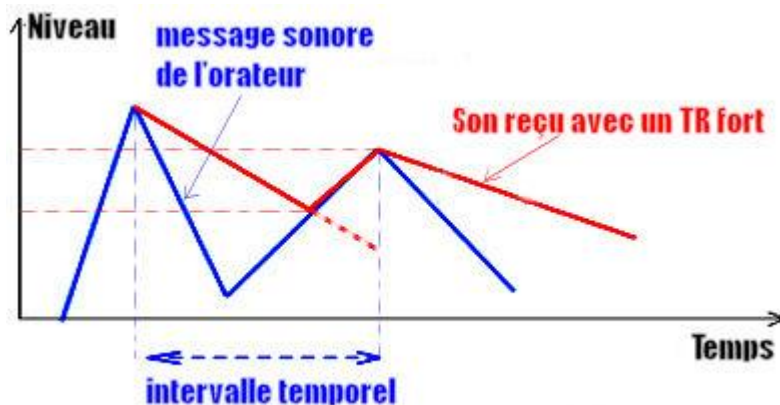


Figure 1.10 Schéma d'un message vocal reçu avec un TR fort

Avec un TR élevé et le même intervalle temporel d'émission, on constate que le premier signal a peu diminué lorsque le deuxième est émis. L'écart temporel est toujours suffisant mais la différence de niveau sonore n'est cette fois plus assez marquée. Les deux sons se mélangent, la distinction, donc la compréhension du message sonore, est plus difficile.

Pour améliorer l'intelligibilité dans ce deuxième cas, avec TR élevé et la rendre analogue à celle obtenue avec un TR faible, il suffit d'augmenter l'intervalle temporel d'émission des 2 signaux (figure 1.11).

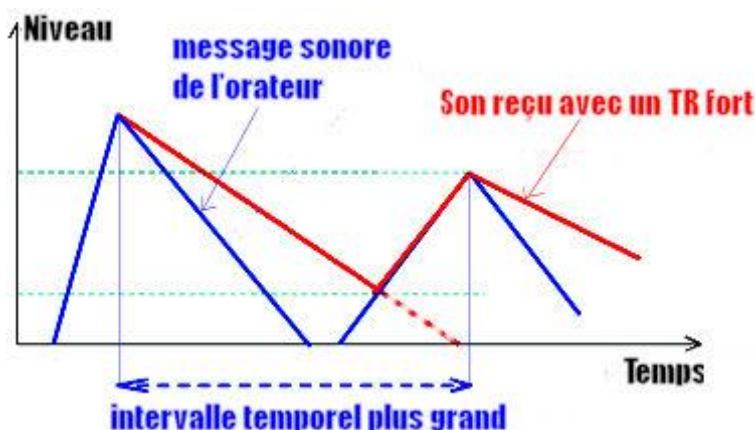


Figure 1.11 Schéma d'un message vocal reçu avec un intervalle temporel plus grand

Dans ce cas de figure, l'écart temporel est toujours suffisant et la différence en niveau sonore est plus marquée. La trainée due à la réverbération a suffisamment diminué et ne recouvre plus le message suivant. La compréhension en est donc améliorée.

En résumé, dans des conditions de forte réverbération, s'il s'agit d'un discours, il faut parler plus lentement. C'est bien ce que l'expérience montre. Un orateur professionnel, dans un local très réverbérant, a tendance, même involontairement, à parler lentement en articulant au maximum, ce qui lui permet d'être mieux compris. Ecouter un discours compliqué dans une salle à réverbération importante oblige à une attention plus soutenue, est plus fatigant, on "décroche" facilement.

L'effet de cette sorte de masquage par le champ réverbéré dépend de la distance locuteur-auditeur et de la réverbération du local. Dans un local d'habitation peu meublé, sans tapis, ni rideaux, l'influence du champ réverbéré est ressentie pour les distances habituelles de la conversation ou de l'écoute de la télévision. Evidemment cet effet néfaste est encore accru lorsqu'il y a plusieurs locuteurs ou plusieurs sources sonores. Il est donc utile d'interroger un malentendant sur son cadre de vie et de le conseiller si nécessaire, lorsque, dans les locaux d'habitation, la prothèse n'apporte que peu d'amélioration dans des conditions acoustiques habituellement favorables : dialogue, écoute de la télévision dans le calme...

1.4 NOTIONS DE CLARTE

On dit qu'une « *salle possède une bonne clarté, ou intelligibilité, si les détails sonores sont bien perçus.* » [2]

La clarté est surtout due au son direct qui est porteur de l'information utile à l'identification des sources. À l'inverse, la réverbération agit plutôt comme un « bruit ». À cet égard, le son direct peut donc être considéré comme un « signal utile », tandis que le son réverbéré serait un « bruit nuisible » pour la clarté. On pourrait alors caractériser la clarté par le rapport Son direct/Son réverbéré, comme un rapport signal sur bruit. Il existe deux types de critères de clarté.

A ce sujet, le rapport signal sur bruit est défini [11] comme étant la différence entre l'intensité du signal et celle du bruit masquant qui l'accompagne. Le bruit est un signal parasite, vibration de l'air qui se propage, venant perturber l'information pendant le transport de celle-ci. Il devient très invalidant en raison de sa nature, de sa fréquence et de son intensité. Nous pouvons rencontrer couramment des bruits de circulation, de machine, de conversations de tierces personnes...

Ainsi, pour un rapport signal sur bruit égal à zéro décibel, le bruit masquant et la parole ont la même intensité. S'il est négatif, le bruit masquant a une intensité supérieure au signal vocal, ce qui caractérise une situation de communication difficile. Inversement, plus le rapport est élevé et meilleur est l'émergence de la parole dans le bruit de fond.

1.4.1 CRITERE DE CLARTE : INDICE C80

« Le critère C80 est utilisé principalement pour la musique. On suppose habituellement que les réflexions des 80 premières millisecondes qui suivent le son direct sont intégrées à celui-ci. Ces réflexions font partie intégrante du son utile. À l'inverse, le son nuisible est constitué du signal survenant au-delà de 80 ms. » [2]

Pour mesurer la répartition temporelle de l'énergie, on définit alors un critère à partir de la réponse impulsionnelle, appelé clarté C80 (et mesuré en dB) [2] :

$$C_{80} = 10 \lg \left(\frac{\text{énergie de 0 à 80 ms}}{\text{énergie après 80 ms}} \right) \quad (1.11)$$

Par exemple, pour une valeur C80 = 6dB, le niveau de l'énergie réverbérée précoce est supérieur de 6 dB à celui de l'énergie réverbérée tardive.

« Pour que la clarté soit satisfaisante, C80 doit être compris entre - 6 dB et + 6 dB. En dessous de -6 dB, l'ambiance de la salle est trop confuse et de ce fait l'intelligibilité de la parole commence à chuter. » [2]

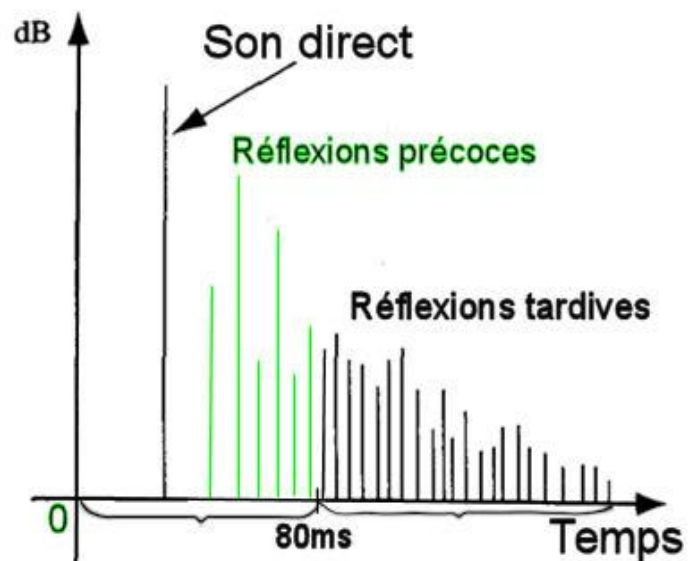


Figure 1.12 Graphique du critère de clarté C80

1.4.2 CRITERE DE CLARTE : INDICE C50

Lorsqu'il s'agit d'étudier de la voix parlée, on utilise le critère de clarté C50 ; comme l'évolution temporelle de la voix est plus rapide que celle de la musique, on remplace la limite temporelle de 80 ms (pour l'intégration des réflexions précoces avec le son direct) par une limite de 50 ms (figure 1.12) [2]

$$C_{50} = 10 \lg \left(\frac{\text{énergie de 0 à 50 ms}}{\text{énergie après 50 ms}} \right) \quad (1.12)$$

On tiendra compte de ce critère dans le cas de la réalisation de tests avec analyse d'un signal vocal.

1.5 NOTIONS DE SPATIALISATION

On dit qu'il y a une bonne impression spatiale dans une salle, si l'auditeur a l'impression de « baigner » dans le son. Pour qu'il y ait une forte impression spatiale, il faut que l'énergie réverbérée arrivant à l'auditeur provienne des côtés de la salle (autrement dit, parallèlement à l'axe des oreilles).

Pour avoir une bonne impression spatiale, il faut que la salle ne soit pas trop large et que les murs latéraux soient suffisamment réfléchissants. Le plafond joue un rôle néfaste sur l'impression spatiale car il produit des réflexions qui masquent les réflexions latérales.

Comme nous l'avons vu, un moyen de réduire la gêne liée à la réverbération est de traiter les locaux afin de casser la diffusion de la réverbération. Il y a également la possibilité pour un orateur d'adapter son débit vocal en fonction de l'environnement où il se trouve. Mais ces techniques restent contraignantes ou coûteuses. Le fabricant Phonak™, au travers de son algorithme de calcul EchoBloc, se propose de réduire ces effets de réverbération, directement par le traitement du signal sonore perçu. Le chapitre suivant va donc se consacrer au fonctionnement du système EchoBloc.

CHAPITRE 2 : LE SYSTEME ECHOBLOC PAR PHONAK™

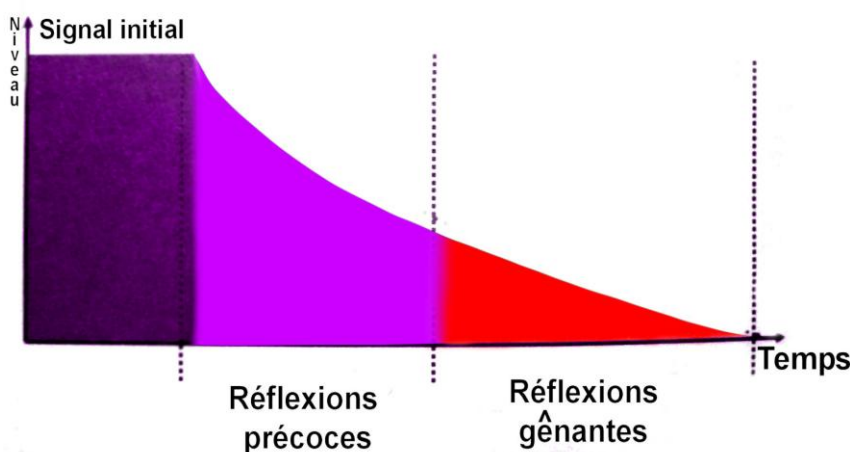
2.1 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Dans des lieux de culte calmes ou lors d'événements sportifs en salle, la gestion efficace des distorsions et du brouillage est essentielle pour que ces environnements d'écoute réverbérants redeviennent agréables. C'est pourquoi, Phonak™ a proposé un nouvel algorithme de calcul permettant d'améliorer la compréhension et le confort d'écoute dans ces lieux.

La figure 2.1 fournie par Phonak™ montre le principe de fonctionnement du système EchoBloc. Nous pouvons remarquer de cette première image que le but du système EchoBloc est de garder pour la compréhension le champ direct et les réflexions précoces, représentées en bleu. Et cela, tout en éliminant le champ diffus, jugé comme gênant pour la compréhension.



Figure 2.1 Fonctionnement du système EchoBloc imagé [12]



Le système procède à l'analyse du signal entrant dans l'aide auditive. Si les réflexions sont jugées gênantes, en fonction du degré de puissance de traitement, EchoBloc les supprime ou les atténue.

Figure 2.2 Signal réverbéré perçu par l'aide auditive [13]

Soit un signal réverbéré dans un environnement calme, sans bruit de fond, perçu par l'aide auditive (figure 2.2). L'étude des différences de niveau sonore entre les 3 différentes phases du signal réverbéré montre une chute progressive du niveau sonore. Les réflexions gênantes présentant le niveau sonore le plus faible. A noter que les zones de réflexions considérées gênantes augmentent lorsque l'on augmente la puissance de traitement EchoBloc.

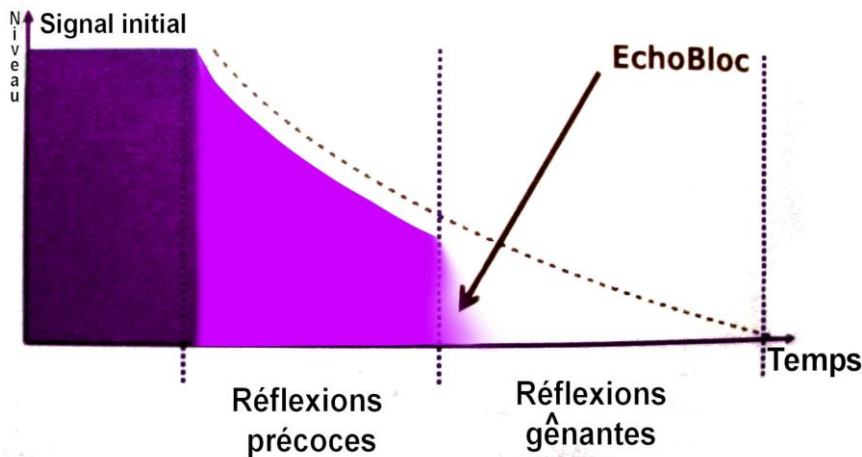


Figure 2.3 Zone d'application du système EchoBloc [13]

Sur la figure 2.3 fournie par Phonak™, on remarque deux principaux effets du traitement EchoBloc, tout d'abord, une coupure des réflexions gênantes, considérées comme telle en fonction de leur temps d'apparition et leur niveau sonore. Nous constatons également une diminution de l'amplitude sonore des réflexions précoces.

Mis à part ces figures explicatives et descriptions, nous ne disposons d'aucune information relative par exemple au temps d'attaque du système EchoBloc. Nous ne savons pas non plus comment les réflexions sont jugées gênantes ou comment le système procède pour les supprimer sans pour autant altérer la compréhension.

Phonak™ nous a communiqué des recommandations d'utilisations du système.

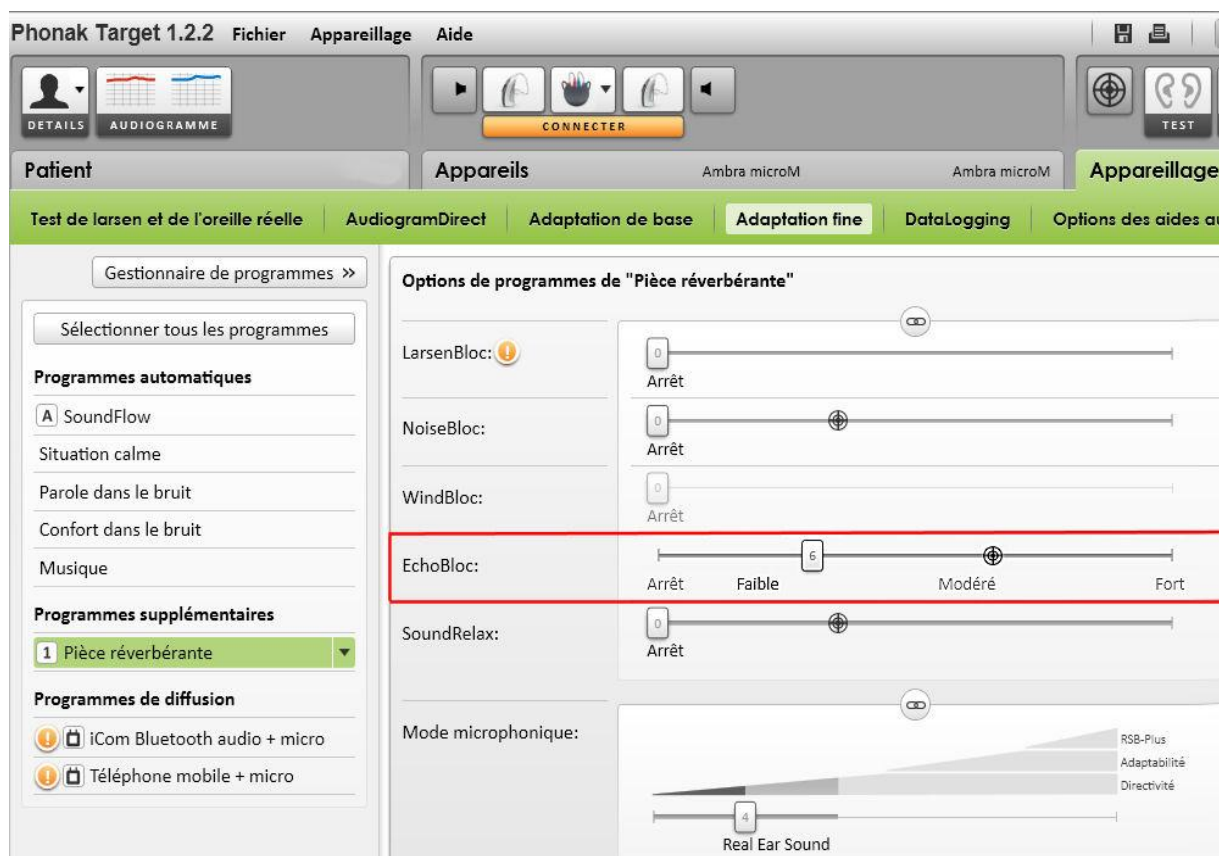


Figure 2.4 Chemin d'accès aux réglages du traitement EchoBloc sous Target™

Pour accéder aux différents réglages du système EchoBloc sous Target™, il faut aller dans le module adaptation fine, comme le montre la figure 2.4. Il faut créer tout d'abord un nouveau programme supplémentaire, autre que le SoundFlow. Ici le programme créé est intitulé « pièce réverbérante ». Il faut sélectionner ce programme et cliquer ensuite sur « options de programmes ». De là s'ouvre un tableau affichant les réglages des différentes options et algorithmes de traitement disponibles.

Le réglage du traitement EchoBloc s'échelonne selon 20 degrés de puissance, allant de 0 pour l'arrêt du système, jusqu'à 20 pour le traitement le plus fort. Des valeurs intermédiaires sont également indiquées de telle sorte que la puissance 4 équivaut à un traitement faible et la puissance 12, à un traitement modéré. Par défaut, lors de la création d'un programme spécial « pièce réverbérante », la valeur de traitement appliquée est 13.

« EchoBloc peut être activé dans le programme « situations calmes » : Si un client se plaint d'être régulièrement gêné par les échos dans ses environnements calmes, par exemple à la maison au bureau, etc.

Activez EchoBloc dans le programme « parole dans le bruit » : Si un client fréquente des environnements bruyants et réverbérant, tels que des restaurants, des salles importantes.

Sélectionnez un programme manuel spécial pour les salles réverbérantes. Conçu pour les pièces calmes mais réverbérantes, il peut être ajusté pour une situation auditive particulière, différente de la situation calme habituelle, comme par exemple un lieu de culte. » [13]

2.2 ETUDE COMPARATIVE REALISEE SUR LE SYSTEME ECHOBLOC

Une étude comparative [14] conduite par le Docteur Birgitta Gabriel, à Hörzentrum Oldenburg en Allemagne, a été réalisée sur 21 personnes déficientes auditives. Avec des âges compris entre 22 et 78 ans, la moyenne d'âge étant de 60 ans. Et la perte moyenne auditive de 66 dB.

Les sujets étaient équipés d'aides auditives PHONAK™ Savia. Deux programmes étaient activés dans les aides auditives. Un programme « situation calme » avec les réglages par défaut, et un deuxième programme appelé « salle réverbérante », dans lequel le système EchoBloc était activé. On ne connaît pas le degré de réglage du traitement EchoBloc.

Les testeurs étaient placés à tour de rôle dans une salle avec un TR de 0,5 seconde, et un poste de télévision était placé dans cette pièce, avec comme programme le journal télévisé animé par un commentateur. Le niveau d'émission sonore était de 65 dB SPL.

Les sujets avaient pour mission de tester les deux programmes et de donner leurs impressions au niveau du confort (comfort) d'une part, au niveau de la compréhension (intelligibility) d'autre part et également leur impression globale (overall). Puis on répétait la même situation mais cette fois dans une salle spécialement traitée avec un TR de 3,9 secondes.

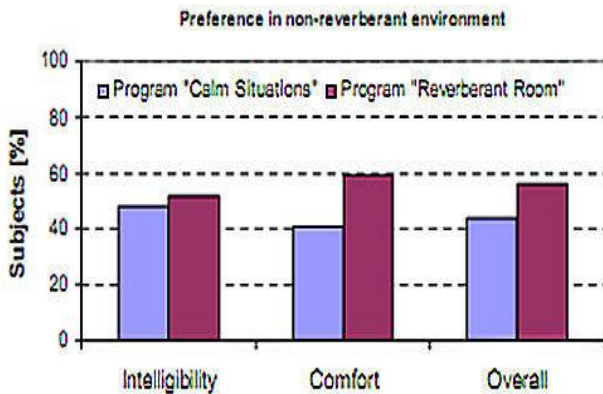


Figure 2.5 Comparaison des résultats dans la salle TR=0.5s [41]

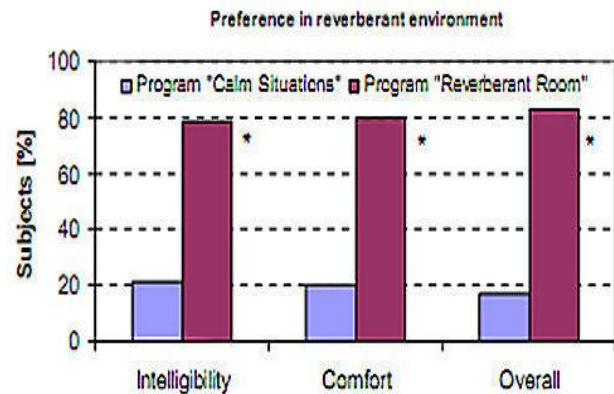


Figure 2.6 Comparaison des résultats dans la salle TR=3.9s [42]

Dans le premier cas (figure 2.5), il s'agit des résultats des impressions des sujets dans la salle calme avec un TR de 0,5 seconde. Il n'y pas de différence trop marquée entre les deux programmes, mais une légère préférence dans tous les cas pour le programme « salle réverbérante ». Entre 10 et 20% de préférences en plus, que ce soit au niveau confort, compréhension ou globalement parlant.

Dans le second cas (figure 2.6), la différence est nettement plus marquée. Seulement 20% de préférences pour le programme « situation calme » dans la salle avec un TR de 3,9 secondes, contre 80% de préférences pour le programme « salle réverbérante ». D'après cette étude, pour un taux de réverbération assez important, il y a une nette amélioration au niveau du confort et de la compréhension lorsque le traitement EchoBloc est activé.

Il est donc intéressant de chercher à comprendre comment fonctionne et comment procède le système EchoBloc pour améliorer confort et compréhension dans ces milieux. Il est également utile de le tester dans des situations plus variées avec des temps de réverbérations différents.

Le chapitre 3 est relatif à l'analyse du traitement EchoBloc. Nous testerons son apport sur l'intelligibilité en milieu réverbérant.

CHAPITRE 3 : TEST DU SYSTEME ECHOBLOC

Le but de cette partie est de mettre en œuvre plusieurs protocoles de tests permettant de comprendre le système de traitement EchoBloc, d'analyser son fonctionnement, ses effets sur la réverbération et sur la compréhension et de déterminer dans quel cas il s'avère utile ou au contraire nuisible.

Dans un premier temps, nous réalisons une série de tests objectifs, en salle de mesure.

3.1 TESTS OBJECTIFS REALISES EN SALLE DE MESURE

3.1.1 MISE EN PLACE D'UN PROTOCOLE DE MESURE

On cherche à récupérer le signal en sortie de l'aide auditive au travers d'un coupleur 2cc et d'un microphone demi-pouce connecté au coupleur. L'aide auditive est programmée respectivement selon plusieurs degrés d'EchoBloc et insonifiée dans un environnement réverbérant reconstitué grâce à un logiciel nommé Echo écrit sous Matlab pour cette campagne de mesure.

3.1.1.1 MATERIEL UTILISE

Nous vérifions que tout le matériel mis à disposition pour les tests est parfaitement calibré. Cette calibration est nécessaire pour assurer une reproductibilité des mesures et une comparaison des différents tests avec des bases identiques.

Liste des matériels utilisés :

- un microphone demi-pouce de marque B&K F15 type 4188,
- relié à une alimentation B&K de type 5935, encore appelé conditionneur (alimentation externe par un micro condensateur),
- un câble de liaison entre l'ordinateur et le microphone,
- le logiciel Spectra+,



Figure 3.1 Installation du microphone demi-pouce

- un pistonphone de marque Brüel & Kjær (B&K) de type 4231 (émet un signal de 94dB à 1000Hz soit une pression équivalente de 1Pa),
- 2 haut-parleurs Klein et Hummel (K.H.) réglables.



Figure 3.2 Mise en place du pistonphone pour l'étalonnage

Le principe de la calibration est d'envoyer un signal avec le pistonphone de 94dB à la fréquence 1000Hz et de recueillir une pression efficace de 1Pa pour des niveaux sonores référencés entre 0 et 130 dB.

On recueille les données via le logiciel Spectra+ pour lequel nous entrons les paramètres d'analyse et d'affichage afin d'avoir toujours la même fenêtre d'observation pour les différents tests.

Les paramètres d'affichage entrés sous Spectra+ pour avoir la même fenêtre d'observation pour tous les tests sont les suivants :

- Fréquence d'échantillonnage : $F_e = 44100$ Hertz,
- $N = 1024$ points pour la fréquence FFT,
- $F_{max} = 22050$ Hz d'après le théorème de Shanon,
- Suivi de la fenêtre temporelle = 23,22ms,
- $F_0 = 43,066$ Hz de pas fréquentiel,
- Fenêtre de pondération : fenêtre de Hanning.

Le logiciel Spectra+ permet d'obtenir des spectrogrammes avec les paramètres entrés précédemment, utiles pour l'analyse et la bonne visibilité des formants, des transitions formantiques et des trainées créées par la réverbération au cours du temps. Cela permet l'observation des effets du système EchoBloc sur des signaux réverbérés.

L'étape de calibration des deux haut-parleurs est indispensable. En effet il faut connaître le niveau exact envoyé par les haut-parleurs pour obtenir un niveau sonore égal entre les deux haut-parleurs d'une part et, d'autre part, pour fixer un repère entre les niveaux sonores analysés par l'ordinateur et ceux envoyés par les haut-parleurs.

On mesure ces niveaux à l'aide d'un sonomètre en position Leq intégré sur 30 secondes.

Un sonomètre est un appareil de mesure de niveaux sonores contenant un microphone et un système de traitement permettant de donner des niveaux de bruits par bandes d'octave, pondérés...

« La pondération est la prise en compte de la sensibilité variable de l'oreille (en fonction de la fréquence et du niveau sonore). La pondération des niveaux sonores permet de définir une unité (le dB(A) principalement) donnant un niveau d'intensité perçue. Elle est donnée généralement en coefficients en dB par bande d'octave. »
[15]

Dans notre étape de calibration, le niveau pondéré relevé au point de mesure, c'est-à-dire le récepteur, est de 69,4 dB A pour le haut-parleur avant gauche et un niveau sonore émit de 69,8 dB A pour le haut-parleur avant droit.

3.1.1.2 CREATION D'UN LOGICIEL NOMME « ECHO »

Pour envoyer ces signaux réverbérés, il faut procéder à la création d'un logiciel permettant d'appliquer un effet de réverbération avec des paramètres précis à un fichier son préenregistré. Nous avons créé un logiciel que l'on a nommé « Echo », programmé sous Matlab.

Le but de ce logiciel est de simuler un effet de salle, de recréer l'ambiance sonore d'un milieu ambiant plus ou moins connu : petite pièce, hall de gare, lieu de culte, salle de concert... Cependant, les effets de réverbération sont souvent employés à tout autre usage : gonfler un son, lui donner du champ sonore, le mettre en valeur, l'allonger, gommer les défauts, le fondre ou le colorer... Ici nous tentons de recréer les conditions de réverbération d'une salle, et ce, en modifiant à souhait les différents paramètres de la salle.

Cependant, si l'on reste dans l'utilisation d'une réverbération numérique pour ce qu'elle prétend faire, à savoir un effet de salle, il faut se reporter à la réalité et faire une comparaison avec ce que l'on pourrait entendre dans une vraie salle de concert, dans un lieu de culte, dans une cour extérieure... C'est pourquoi nous ne nous contenterons pas de faire uniquement des tests en salle d'examen mais les réaliserons aussi dans des conditions réelles.

Notre solution consiste à placer deux haut-parleurs en avant de la source, à droite et à gauche. Cette disposition gérable par la carte son de l'ordinateur nous permet de recréer des conditions précises de réverbération sous Matlab (c'est-à-dire avec positionnement de la source, distance d'émission...). Cela permet de recréer des conditions de réverbération aux paramètres définis précédemment dans tout l'espace qui entoure le récepteur, en recréant une spatialisation acoustique.

Le logiciel « Echo » calcule la réponse impulsionnelle réverbérée à droite et à gauche du patient, en prenant en compte :

- les dimensions de la salle (x, y, z) : largeur, longueur, hauteur, que l'on souhaite,
- on définit également la position de la source émettrice (ses coordonnées dans la salle),
- on place la position du récepteur (en l'occurrence l'aide auditive),
- on définit les différents coefficients d'absorption (ici on appliquera le même coefficient à toutes les surfaces, sol, murs et plafond, pour simplification).

Une fois que tous ces paramètres sont déterminés, les réponses impulsionnelles sont convoluées avec le fichier « son » (phrases, listes de mots...) que l'on souhaite faire entendre. On applique ainsi un effet de réverbération, correspondant aux différents paramètres que l'on a enregistrés sur ces fichiers « sons ».

3.1.1.3 LES AIDES AUDITIVES UTILISEES

Pour la réalisation de ces tests, le fabricant Phonak™ nous a gracieusement envoyé des aides auditives de type contour Ambra micro M. Ces appareils font partie du haut de gamme de chez Phonak™, car seule cette gamme dispose du système EchoBloc.

Les aides auditives sont réglées sous Phonak™ Target™ version 1.2.2.



Figure 3.3 Appareil Phonak™ Ambra MicroM utilisé pour la réalisation des tests



Figure 3.4 Audiogramme entré dans les aides auditives pour les tests objectifs

L'audiogramme rentré dans le logiciel de programmation est une courbe plate avec perte moyenne de 25dB (figure 3.4). Nous choisissons d'appliquer un gain léger sur les appareils pour une question de visibilité sous Spectra+. La présence de gain permet de plus contraster la présence d'énergie sur le spectrogramme obtenu via le logiciel, ce qui rend l'analyse plus claire.

La nouvelle version du logiciel d'adaptation Target™ permet désormais de réaliser des audiométries in situ, à travers les appareils, directement sur l'oreille du patient.

Les mesures des seuils d'audition en conduction aérienne et seuils d'inconfort se font directement via l'aide auditive au niveau du tympan. Ces mesures sont effectuées en Décibel (dB) SPL (Sound Pressure Level) puis convertie en dB HL.

Cette option s'avère réellement pratique, en particulier pour les tests subjectifs sur patients.

</

Figure 3.5 Réglages des appareils

D'après la figure 3.5, tous les systèmes de traitement sont mis sur arrêt hormis le système EchoBloc. En effet, il ne doit y avoir aucun traitement ou programme supplémentaire, autre que le système EchoBloc. Nous désactivons le « Sound flow » (programme initial de base des nouveaux appareils Phonak™), et créons un programme unique pour le traitement de la réverbération : sans réducteur de bruit, sans compression, sans transposition fréquentielle ni aucune option déformant le signal autre que le système EchoBloc.

Remarque : le mode microphonique, placé sur la puissance 4, indique la directionnalité des microphones. Le mode 4 correspond à une directivité « Real ear sound » qui est une directivité fondée sur celle du pavillon de l'oreille. Ce mode ne perturbe pas nos tests car les haut-parleurs recréant la réverbération sont placés en avant des appareils.

Il reste maintenant à établir la jonction entre une des aides auditives et le microphone relié à l'ordinateur pour démarrer les tests.

Une aide auditive est montée sur un coupleur 2cc adaptable sur le microphone (figure 3.6) pour recueillir uniquement le signal renvoyé par l'écouteur de l'aide auditive. Le tout est isolé afin de ne pas enregistrer les sons provenant directement des haut-parleurs. Des tests sont également réalisés à cet effet lors de la calibration du microphone et des haut-parleurs. Nous envoyons un signal lorsque l'aide auditive est hors tension et tentons d'obtenir un spectrogramme vide sous Spectra+. Ceci indique qu'aucun son n'est parvenu au microphone et que le système est correctement isolé pour obtenir des tests fiables.

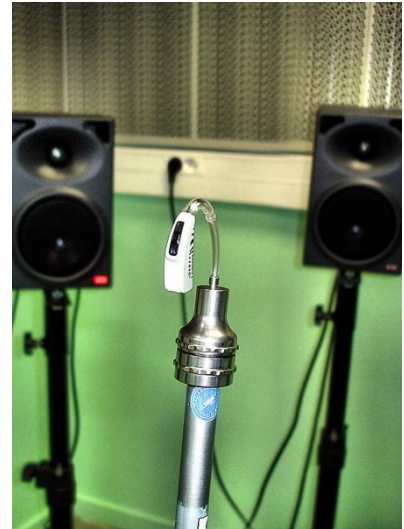


Figure 3.6 Mise en place de l'aide auditive et du coupleur 2cc sur le microphone

3.1.2 TEST AVEC UN BRUIT BLANC EN SIGNAL SONORE

Ce test a pour objectif de montrer clairement à l'aide d'un graphique obtenu via Spectra+, l'effet direct du système EchoBloc sur un signal sonore pour lequel on applique une réverbération. Le bruit blanc de base est donc convolué et réverbéré.

Un temps de réverbération assez élevé montre plus distinctement les effets du système EchoBloc. C'est pourquoi nous nous concentrons sur un signal auquel on applique un temps de réverbération de 3 secondes pour une distance entre la source et le récepteur de 10 mètres (programme « Echo » sous Matlab).

La première variable entre les différents tests avec bruit blanc est la durée d'émission du signal bruit blanc réverbéré. Un signal de 1 seconde dans un cas et un signal de 5 secondes de durée dans l'autre cas, dans le but d'observer le temps d'attaque du système EchoBloc.

Ensuite nous faisons varier les degrés d'atténuation de réverbération proposés par le système. L'échelle de traitement EchoBloc allant de 0 à 20, nous testons des valeurs extrêmes, 0 et 20, à savoir sans traitement et avec un traitement maximum et

également deux valeurs de traitement intermédiaires à savoir 4, pour un faible traitement et 12 pour un traitement modéré.

Concernant les manipulations, les 2 haut-parleurs envoient le signal à la même intensité. Nous recueillons les données via le logiciel Spectra+ ce qui nous permet d'obtenir les différents spectrogrammes et de les superposer à l'aide d'un logiciel de traitement d'image afin d'observer comment le traitement EchoBloc opère en fonction de son degré d'activation.

Les tests commencent par l'envoi d'un bruit blanc de durée 1 seconde convolué avec un TR de 3 secondes pour une distance de 10 mètres.

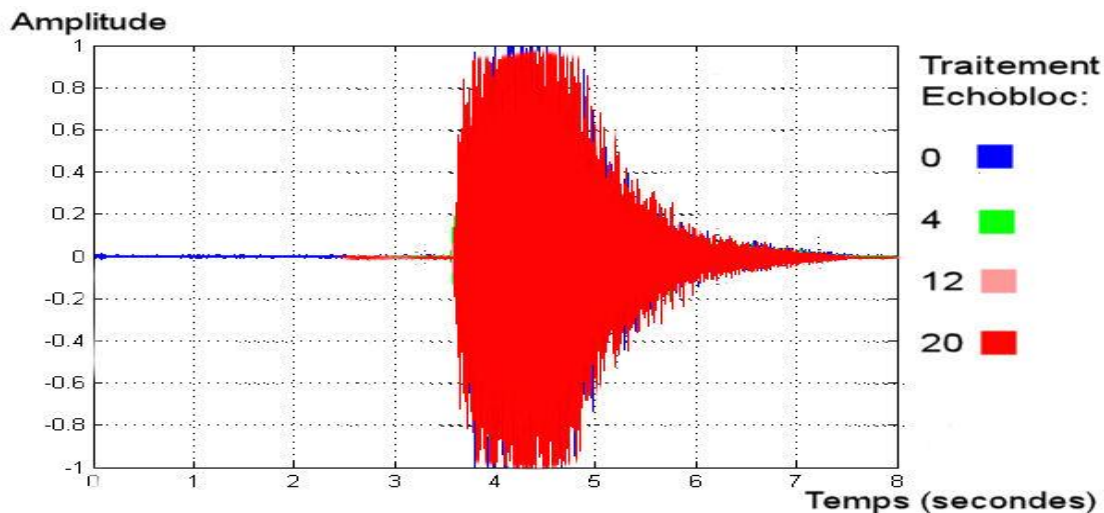


Figure 3.7 Superposition des résultats pour un bruit blanc de durée 1s

Les réponses enregistrées entre les différents modes de traitement (figure 3.7) ne montrent aucune différence significative. Les différents résultats sont superposables et semblables entre eux. Il apparaît que le système EchoBloc n'est pas actif pour un signal envoyé d'une durée de 1 seconde. Nous testons donc le système avec une durée d'exposition sonore plus élevée.

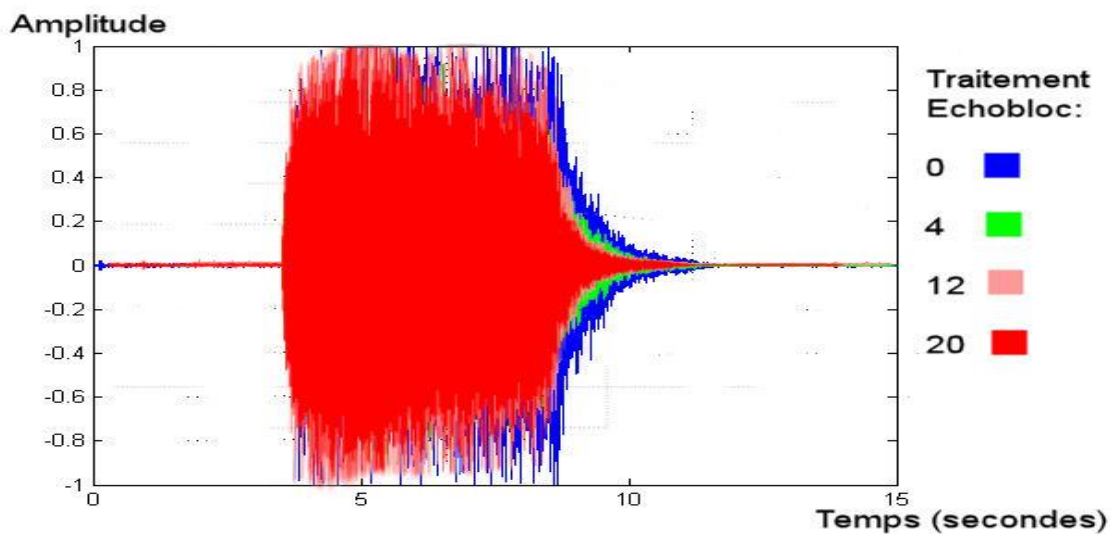


Figure 3.8 Superposition des résultats pour un bruit blanc de durée 5s

Dans ce cas, nous observons effectivement une différence entre les différents traitements (figure 3.8). Nous remarquons une diminution de la trainée, de plus en plus marquée lorsque nous augmentons le traitement. Nous constatons aussi une différence au niveau de l'amplitude. Des variations d'amplitudes sont observables à partir de 2 ou 3 secondes. Cela montre qu'il existe bien un temps d'attaque du système EchoBloc, c'est-à-dire le temps nécessaire au processus d'analyse pour détecter la réverbération dans le signal et appliquer le traitement.

3.1.3 TEST AVEC EMISSION D'UN SIGNAL DE PAROLE

Il s'agit d'obtenir le spectrogramme d'un signal de parole à une distance de 1 mètre sans réverbération émit par les haut-parleurs. Nous entrons les données dans le programme Matlab, distance de la source =1, coefficient d'absorption $\alpha=1$ qui est une valeur de coefficient d'absorption totale donc sans effet de réverbération, pour obtenir un signal le plus pur possible.

Nous sauvegardons les données et activons la commande son sous Matlab intitulé « signal parole (sans reverb) ». Les haut-parleurs envoient une phrase test préenregistrée d'une durée de 25 secondes. L'aide auditive placée sur le microphone recueille les sons, les traite et les retransmet au microphone par l'intermédiaire du coupleur 2cc.

Nous enregistrons le résultat recueilli dans l'ordinateur sous forme de spectrogramme au format « .tiff » dans un dossier pour pouvoir traiter et comparer les informations par la suite. Nous obtenons un spectrogramme à l'état brut en figure 3.9.

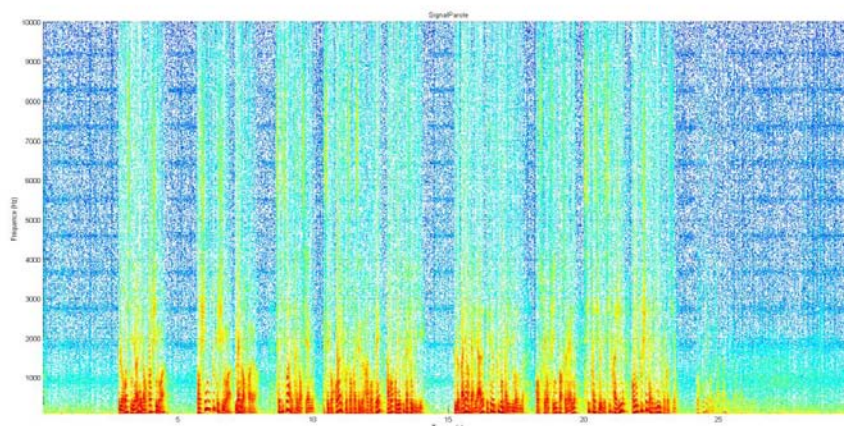


Figure 3.9 Spectrogramme d'une phrase recueilli sous Spectra+

Phrase test: « *Le rossignol et l'empereur chinois. En chine tout est chinois, même l'empereur. Cette histoire est très ancienne. C'est pourquoi il faut s'empresser de la raconter avant qu'on ne l'ait tout à fait oubliée. Le palais impérial était le plus beau palais du monde. Construit en fine porcelaine si précieuse et si fragile qu'on y touchait qu'avec mille précautions.* » [16]

En abscisse nous avons l'échelle des temps en seconde, en ordonnée l'échelle de fréquences. L'échelle de couleur allant des couleurs froides comme le bleu jusqu'aux couleurs chaudes comme le rouge, montre la présence d'énergie en fonction de la fréquence et du temps. Plus la couleur tire vers le rouge, plus il y a d'énergie sonore. Cela permet de mettre en évidence les formants, les lacunes vocales, et les transitions formantiques.

Pour les tests suivants, nous procédons de la même manière mais en appliquant différents temps de réverbération à la phrase préenregistrée et différentes distances:

Les différents TR : 0.8s, 1s, 2s, 3s, et 10s.

Les différentes distances de tests : 1m, 5m et 10m.

Pour chacune de ces configurations, il faut tester les quatre modes de traitement EchoBloc choisis auparavant : 0, 4, 12 et 20.

Nous observons différents spectrogrammes pour comparer l'impact des différents traitements et également remarquer si le temps d'attaque du système observé dans les précédents tests est le même.

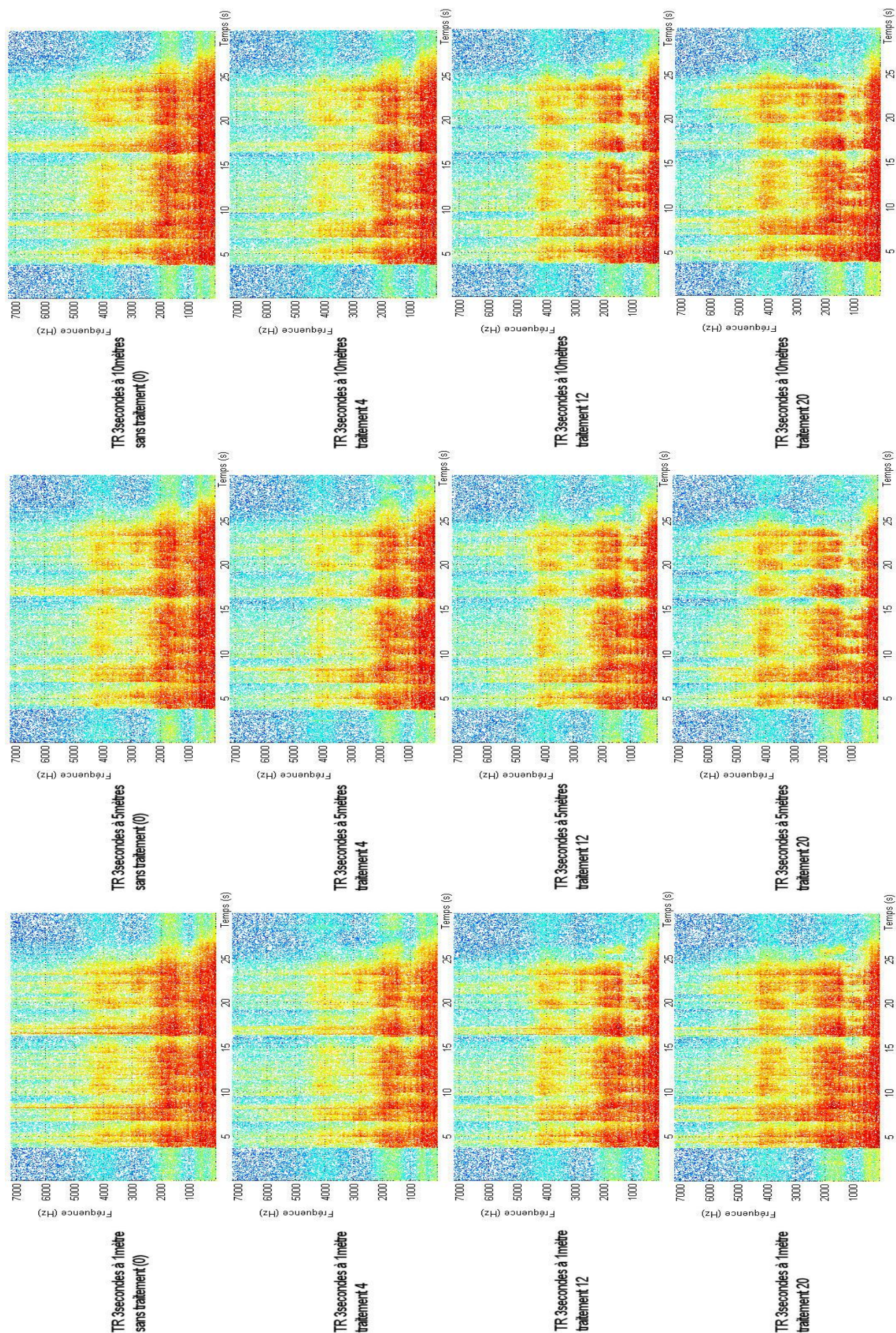


Figure 3.10 Spectrogrammes d'un signal vocal avec un (TR) de 3 secondes

Tous les autres tests avec les différents temps de réverbérations se trouvent en annexe page 63, 64, 65 et 66. Nous avons choisi de mettre en avant les spectrogrammes obtenus avec un temps de réverbération de 3 secondes car les différences entre les degrés de traitement EchoBloc sont particulièrement visibles sur ceux-ci.

Comparons horizontalement les spectrogrammes de la figure 3.10 entre eux, c'est-à-dire lorsque la distance de test varie uniquement. Il n'y aucune différence entre eux : effectivement le niveau sonore reste le même en tout point en raison du champ diffus. Le niveau sonore reste pratiquement identique à 1 mètre ou à 10 mètres. Il n'y a donc pas de variation en intensité entre les différents spectrogrammes.

En comparant verticalement les spectrogrammes, c'est-à-dire en faisant varier la puissance de traitement EchoBloc, nous remarquons qu'entre les différentes puissances d'EchoBloc, la longueur de la trainée de fin de phrase diminue plus on augmente le traitement. C'est la même constatation que pour les tests avec les bruits blancs envoyés.

Nous observons aussi des différences d'intensités entre les différents traitements. Le spectrogramme avec traitement 0 est beaucoup plus « rouge » et « rempli » que le spectrogramme avec traitement 20. Il y a eu déperdition d'énergie par le système EchoBloc. Les formants sont beaucoup plus détachés pour le traitement 20 mais cette réduction d'énergie ne se fait que selon certaines zones fréquentielles comme l'indique la lecture des spectrogrammes.

TR 3secondes à 10mètres
sans traitement (0)

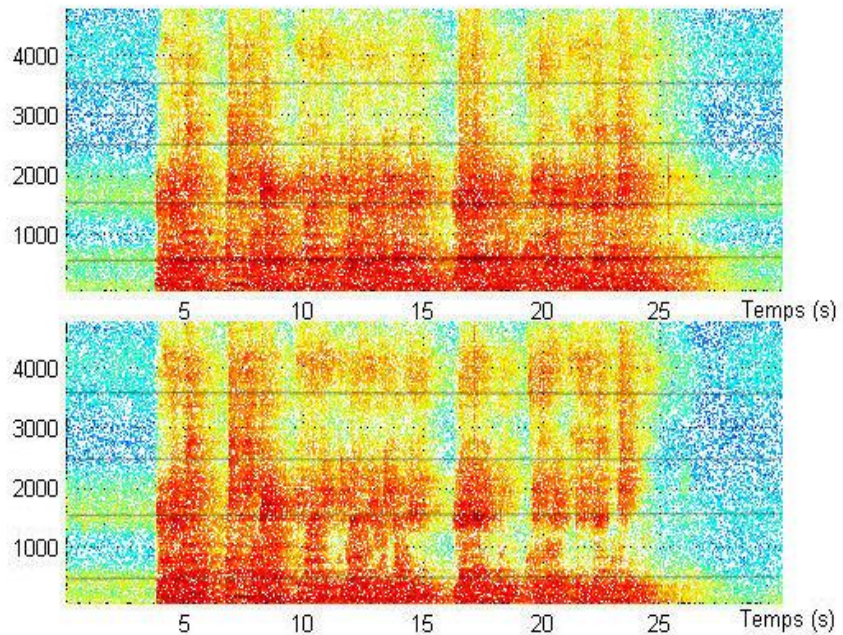


Figure 3.11 Zoom sur le spectrogramme d'un signal de parole réverbéré avec un TR=3s

La figure 3.11 montre que la zone fréquentielle d'action du système EchoBloc est principalement située de 500 à 1500 Hertz. Avec un maximum de réduction dans la zone située entre 700 et 1200 Hertz et des réductions amoindries dans le reste de la zone d'action.

Une seconde zone d'action est discernable, plus légère toutefois. Elle est située aux alentours de 3000 Hertz.

Nous remarquons également que le système EchoBloc agit sur les fréquences plus aiguës. Au dessus des 3500 Hertz, une légère amplification d'énergie apparaît. Probablement pour donner plus de détails acoustiques pour la compréhension et pour combler les détails enlevés dans les fréquences plus graves.

Enfin, une dernière remarque relative au temps d'attaque du système EchoBloc. Dans la zone fréquentielle située entre 500 et 1500 Hertz, les effets du traitement sont progressivement de plus en plus marqués. Tout d'abord, ils commencent à être vraiment visibles à partir de la dixième seconde qui montre une différence d'énergie. Puis cette différence est de plus en plus accentuée jusqu'à la fin de la phrase pour terminer par la réduction de la trainée laissée par la réverbération en fin de phrase.

En revanche lorsque nous ciblons sur la zone fréquentielle des 3500 Hertz, la baisse d'énergie semble plus marquée vers le milieu de phrase et non aux extrémités.

Il ressort que le système EchoBloc est un filtre passe bande, réduisant certaines zones fréquentielles et amplifiant d'autres zones pour palier à cet effet et ce, dans le but probablement, d'améliorer la compréhension. Une question se pose, le fait d'enlever autant d'indices acoustiques permet-il réellement d'améliorer l'intelligibilité? Cela reste à vérifier par des tests subjectifs qui font intervenir les réponses de patients.

3.2 TESTS SUBJECTIFS

Cette partie regroupe les tests réalisés avec des patients. Il faut dans un premier temps établir de nouveaux protocoles de test. Le but étant de tester l'amélioration de la compréhension et de l'intelligibilité en milieu réverbérant, en fonction des différents traitements EchoBloc et des différents temps de réverbération. Le critère de clarté va se révéler intéressant dans ces tests.

3.2.1 PRISE EN COMPTE DU PARAMETRE DE CLARTE

Pour effectuer les différentes mesures il faut choisir au préalable les paramètres que nous allons faire varier : la distance de la source ainsi que les coefficients d'absorption. Pour obtenir des conditions différentes les unes des autres tout en permettant de tester plusieurs distances et plusieurs taux d'absorption, nous allons nous baser sur le paramètre clarté obtenu dans chaque configuration testée.

Pour ce faire nous déterminons tout d'abord 3 distances de source pour les tests : 1m, 5m et 10m, représentatives de différentes positions de la vie réelle. La distance 1 mètre en tant que condition de tête-à-tête lorsqu'on parle à un individu. 5 mètres pour une distance d'interpellation. 10 mètres pour une source éloignée.

Ensuite nous choisissons 5 coefficients d'absorption afin de tester un panel varié de différentes situations, différents types de salles, et par conséquent différents temps de réverbération.

Les temps de réverbération (TR) retenus et les différents coefficients d'absorption (α) qui leurs correspondent sont :

$\bar{\alpha} = 0.25$ pour un TR=0.8s (situation de compréhension parfaite pour un TR de 0.5s)

$\bar{\alpha} = 0.2$ pour un TR=1s

$\bar{\alpha} = 0.1$ pour un TR=2s

$\bar{\alpha} = 0.066$ pour un TR=3s

$\bar{\alpha} = 0.02$ pour un TR=10s (condition extrême, lieu de culte ou hall très réverbérant).

On calcule pour chacune de ces mesures le paramètre clarté C50 (voir 1.12) en fonction du temps de réverbération et de la distance de la source sous le logiciel Matlab.

On obtient différents paramètres de clarté (tableau n°2) :

Temps de réverbération	Distance source-récepteur	Clarté en décibel (dB)
0.8s	1m	-8.46
	5m	-10.89
	10m	-14.24
1s	1m	-10.55
	5m	-12.9
	10m	-16.27
2s	1m	-16.4
	5m	-18.7
	10m	-22.1
3s	1m	-19.3
	5m	-21.6
	10m	-24.9
4s	1m	-24.25
	5m	-26.5
	10m	-29.9

Tableau n°2: Paramètres de clarté C50 mesurés en fonction des différents TR

Pour rappel, subjectivement, un taux de clarté confortable pour une bonne compréhension et un bon confort acoustique, se situe entre +6 dB et -6dB. Ici toutes les valeurs sont inférieures, allant de -8,46 dB à -29,9dB. Résultats qui reflètent donc des situations de compréhension plutôt inconfortables, mais idéales pour tester le système EchoBloc.

3.2.2 PROTOCOLE DE TEST SUR DES PATIENTS

Le but est de créer un protocole visant à évaluer la compréhension en milieu réverbérant et permettant de tester si le système EchoBloc peut s'avérer être une aide au niveau de la compréhension en milieu réverbérant.

Il paraît intéressant de tester ce système dans deux conditions différentes. Tout d'abord en salle d'examen, avec le montage des deux haut-parleurs, en envoyant des listes de mots après leur avoir appliqué différents traitements. Par la suite, nous testerons directement le système en situation réelle, dans un hall assez réverbérant, celui de la Faculté de Pharmacie de Nancy.

3.2.3 TEST EN SALLE D'EXAMEN AVEC LISTES DE MOTS

3.2.3.1 CREATION DES LISTES DE MOTS REVERBERES

Pour ce premier type de test, il faut créer des listes de mots et leur appliquer un traitement. Pour ce faire nous optons pour les listes dissyllabiques de Fournier. Nous extrayons 30 listes de Fournier du CD fourni par le Collège National d'Audioprothèse. Le nombre assez important de listes permet d'éviter la mémorisation des termes, au cours des nombreux tests à réaliser avec chaque personne.

Une fois l'extraction de ces mots réalisée, nous créons le programme de traitement de réverbération pour les listes de mots. Chaque mot de chaque liste doit être séparé un à un pour éviter que la trainée due à la réverbération du mot précédent empiète sur le mot suivant. Il faut également créer une fonction de pause entre chaque mot pour laisser le temps à la personne de répéter le mot d'une part, et laisser un temps suffisant pour que la réverbération ne soit plus perceptible. Le temps de réponse du patient est plus long pour des signaux réverbérés que pour des signaux sans traitement, cela demande plus d'efforts pour la compréhension et entraîne donc de la fatigue. Il est donc nécessaire, sur une liste de 10 mots, de pouvoir laisser des temps de récupération plus longs et adaptables au sujet.

Il faut choisir quel type de réverbération appliquer aux différentes listes de mots. Pour ce faire nous utilisons les différents paramètres de clarté C50 choisis précédemment (voir tableau n°2) afin de pouvoir tester des cas de réverbération extrêmes et intermédiaires. Notre choix se porte sur les valeurs de temps de réverbération associées aux distances et aux clartés suivantes :

- La configuration TR1 : TR= 1 seconde à 10 mètres / clarté C50 de -16,27dB
- La configuration TR2 : TR= 2 secondes à 10 mètres / clarté C50 de -22,1dB
- La configuration TR3 : TR= 3 secondes à 10 mètres / clarté C50 de -24,9dB

Nous devons ensuite définir comment évaluer le score de réponse. Dans un premier temps, il faut établir un système de comptabilisation (voir tableau n°3), si le mot est répété correctement ou non, et dans un deuxième temps, noter en cas d'erreur, le mot répété par le patient afin d'analyser les erreurs faites. Il faut donc bien préciser au patient de répéter ce qu'il entend et ce même si le mot n'a pas de sens. On obtient donc le tableau de notation suivant :

TR1	Mot envoyé	Mot répété	TR2	Mot envoyé	Mot répété	TR3	Mot envoyé	Mot répété
Total		Pourcentage de succès			%			%

Tableau n°3: Notation des erreurs réalisées

Il reste à définir un niveau sonore d'émission du signal. Sachant que l'on teste en partie l'intelligibilité vocale il paraît normal de se baser sur le maximum d'intelligibilité de la personne en champ libre. C'est-à-dire le niveau sonore le plus faible pour lequel on obtient des listes de mots répétées à 100%. Cela permet de constater s'il y a détérioration de la compréhension avec l'application de réverbération et, si oui, à partir de quel seuil. Enfin de tester si, avec les différentes puissances de traitement EchoBloc, une amélioration de la compréhension se ressent.

Nous comparons également les pourcentages d'erreur de répétition entre la première et la deuxième syllabe de chaque mot (tableau n°4).

Nombre de mots erronés dans les listes	Nombre de 1ere syllabe correctement répétée parmi les mots erronés	Nombre de 2eme syllabe correctement répétée parmi les mots erronés
Total	Résultat en pourcentage	Résultat en pourcentage

Tableau n°4: Comparaison de répétition correcte entre 1ere et 2eme syllabe d'un mot

Les valeurs de traitement EchoBloc retenues pour les tests sont 0 (sans traitement), 4 (traitement faible), 12 (traitement moyen) et 20 (traitement maximum).

Voici le profil du patient n°1 :

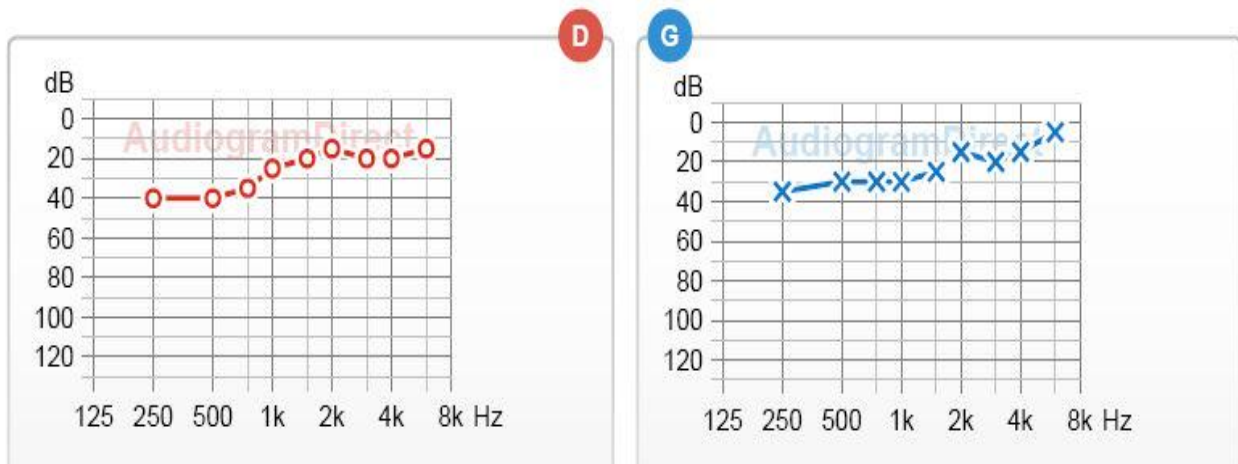


Figure 3.12 Audiométrie du patient n°1 réalisée sous Target

L'audiométrie de ce patient est réalisée directement avec les aides auditives sur les oreilles, par l'intermédiaire du logiciel Target de PHONAK™. Ce logiciel permet maintenant dans cette version de réaliser des audiométries in situ, ce qui s'avère très pratique dans ce cas. La personne ne possède pas son audiométrie et n'est pas appareillée.

Ce patient présente une perte bilatérale symétrique moyenne de 25dB pour l'oreille droite et 22,5dB pour l'oreille gauche avec prédominance sur les fréquences graves. Cette personne n'est pas appareillée mais reconnaît avoir quelques problèmes de compréhension en particulier en milieu réverbérant.

Le profil de ce patient est intéressant dans le sens où la perte auditive est plus marquée sur les graves. Or la réverbération est plus gênante sur ces fréquences. Il est donc intéressant d'observer les résultats offerts par le traitement EchoBloc pour cette personne, si une réelle amélioration de compréhension se fait ressentir et dans quel cas.

Pièce réverbérante

	390	1.1k	1.8k	2.7k	3.6k	6.6k		390	1.1k	1.8k	2.7k	3.6k	6.6k
MPO	109	106	100	101	100	89	MPO	109	107	101	102	102	92
80dB	12	8	4	9	8	-5	80dB	12	10	5	9	8	-3
60dB	15	9	5	9	9	-5	60dB	14	11	8	9	9	-3
40dB	13	8	4	4	7	-7	40dB	12	9	5	5	7	-5
CR	1,2	1,1	1,1	1	1,1	1	CR	1,1	1,1	1,1	1	1,1	1
TK	26	24	27	29	28	26	TK	27	25	30	32	31	30

Figure 3.13 Gains des aides auditives pour le patient n°1

Pour le réglage des aides auditives, nous créons un programme spécifique pour les tests appelés « pièce réverbérante ». Nous appliquons les réglages de la figure 3.16.

Nous réalisons ensuite une audiométrie en champ libre également avec les aides auditives afin d'obtenir le maximum d'intelligibilité du patient n°1. Le maximum d'intelligibilité en champ libre retenu est à 50dB C. Donc le niveau sonore des tests sera de 50dB.

On réalise le test avec le critère de clarté C50 choisi pour le traitement EchoBloc 0.

TR1	Congé		TR2	Râteau	Radeau	TR3	Soucis	
	Mouton			Donjon	Plongeon		Tripot	Rideau
	Roseau			Serpent	Cerveau		Balais	
	Frelon			Crémier			Vallon	
	Lapin			Niveau			Saint-doux	Savon
	Traité	trépied		Refrain			Brigand	Ripan
	Caillot			Veston	Vaïsson		Rouleau	Fourneau
	Radis			Forban			Défis	
	Bâton			Bucher			Bambin	/
	Ruban			Cachot			Secret	
TOTAUX		90%			60%			50%

Mots erronés : 10	1ere syllabe répétée	2eme syllabe répétée
Total	4 => 40%	0 => 0%

Tableau n°5: Notation des résultats pour le patient n°1 sans traitement Echobloc

Dans ce premier test sans traitement EchoBloc, on remarque évidemment que le taux d'intelligibilité diminue lorsque le taux de réverbération augmente.

Lorsque les mots ne sont pas répétés correctement, nous remarquons que la première syllabe est mieux répétée que la deuxième. D'autre part, les erreurs sont souvent présentes au niveau des consonnes qui font la transition entre les deux syllabes. Nous allons pouvoir observer si les traitements EchoBloc permettent de changer cette tendance. C'est pourquoi pour chaque liste de mots, nous notons quelle syllabe est correctement répétée.

Les résultats des tests du patient n°1 avec les autres traitements se trouvent en annexe page 67.

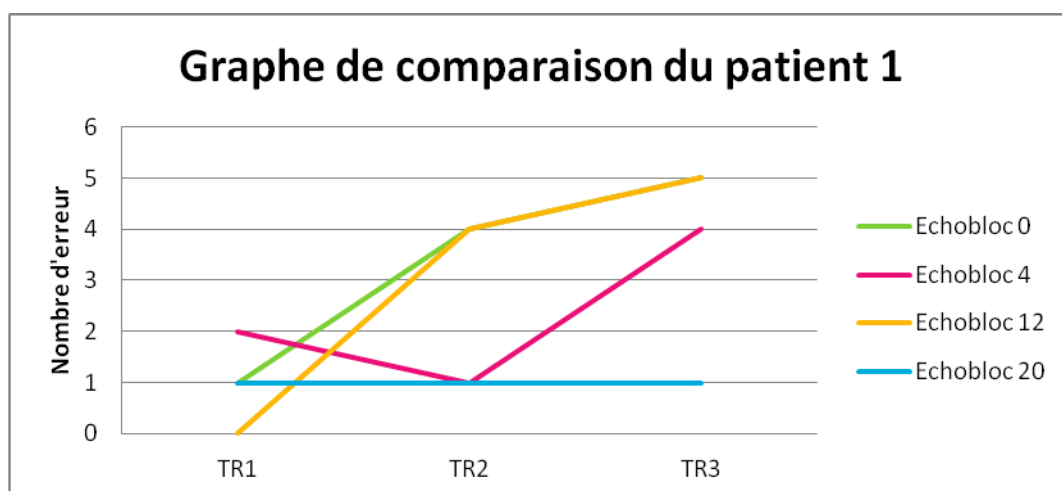


Figure 3.14 Graphe de comparaison du meilleur traitement Echobloc en fonction du TR pour le patient1

Le système EchoBloc enclenché entraîne une amélioration de la compréhension dans tous les cas de figure ou des résultats similaires. Il y a donc un apport dans un premier temps. Ensuite pour un temps de réverbération de 1 seconde, le traitement le plus efficace est le traitement 12, puis pour des temps de réverbération compris entre 2 et 3 secondes, c'est le traitement 20 qui est le plus adapté. De manière générale, le traitement 20 semble le plus adapté à toutes les situations.

Nous procédons aux mêmes tests pour le patient n°2.



Figure 3.15 Audiométrie du patient n°2 réalisée sous Target

L'audiométrie du patient est réalisée de la même manière que pour le précédent, grâce au programme audiogramme direct du logiciel Target de PHONAK™. La perte moyenne symétrique bilatérale s'élève à 20dB à gauche et à droite. C'est une perte de type début de presbyacousie. Le patient se plaint de quelques problèmes d'auditions en milieu bruyant et n'est pas appareillé.

Programmes supplémentaires

Valeurs affichées: absolues; Mesure standard: SPL sur 2 cm3; Sortie

</

Figure 3.16 Tableau des gains des aides auditives pour le patient n° 2

Le maximum d'intelligibilité en champ libre retenu se situe à 45dB C. Donc le niveau sonore des tests sera également basé sur ce niveau.

TR1	Tronçon		TR2	Logis	Loli	TR3	Parfum	Panté
	Caillot			Destin	Dessin		Cachet	Gachet
	Banquet			Perdreux			Ravin	Rabin
	Mépris			Chalet	Chat		Dragon	
	Jasmin			Fagot	Dragon		Lila	Ouila
	Décret			Toupet			Récit	
	Taureau	Tobo		Compas	Combat		Couvent	
	Patron			Héron			Gallon	/
	Chemin			Tripot	Tricot		Courrier	
	Fracas			Froment			Crapaud	
TOT		90%			40%			50%

Mots erronés : 12	1ere syllabe répétée	2eme syllabe répétée
Total	7=> 58%	2=> 16%

Tableau n°6: Réponses aux tests en salle d'examen pour le patient n°2, traitement EchoBloc 0

La suite des tests du patient n°2 se trouvent en annexe page 68.

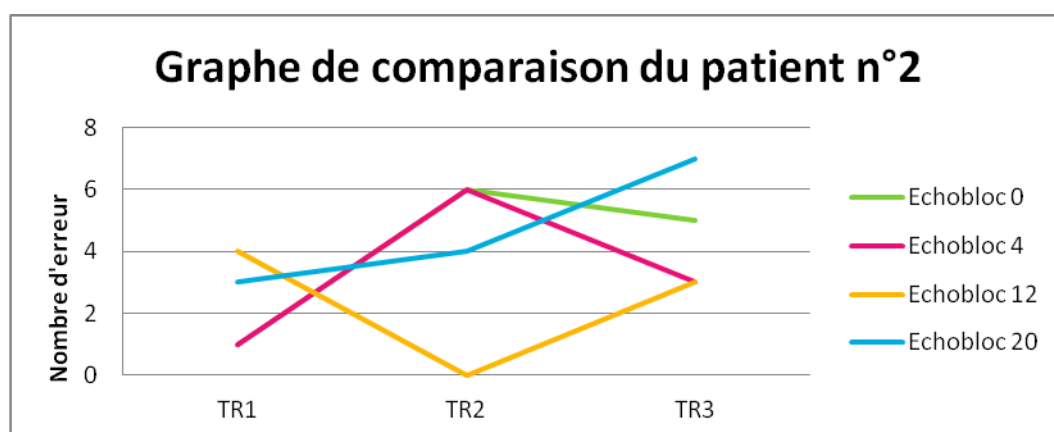


Figure 3.17 Graphe de comparaison du meilleur traitement Echobloc en fonction du TR pour le patient n°2

Le traitement EchoBloc s'avère efficace en traitement 12 mais pour des temps de réverbération de 2 et 3 secondes. Pour des temps inférieurs, le traitement devient nuisible et il est préférable de ne pas activer de traitement, ou ne pas dépasser le traitement 4.

COMBINAISON DES RESULTATS DES PATIENTS

En regroupant les résultats obtenus par les deux patients nous obtenons ce tableau de préférences d'utilisation du système EchoBloc pour une compréhension optimale.

	EchoBloc 0	EchoBloc 4	EchoBloc 12	EchoBloc 20
TR1	0%	50%	50%	0%
TR2	0%	33%	33%	33%
TR3	0%	33%	33%	33%

Tableau n°7: Graphe de comparaison d'efficacité des traitements EchoBloc en fonction des différents TR

Les résultats ne sont pour le moment pas assez tranchés pour pouvoir établir un guide d'utilisation précis adapté en fonction des situations. Il faudrait également réaliser les tests à plus grande échelle, sur un nombre de patient plus important. Mais cela reste difficile à mettre en pratique à cause de la durée des tests.

Cependant, nous remarquons que le système Echobloc, pour un réglage compris entre le degré 4 et le degré 12, apporte une amélioration de compréhension dans tous les cas.

3.2.4 TEST EN SALLE D'EXAMEN AVEC LISTES DE PHRASES

Les tests suivants sont basés sur le même principe, nous appliquons de la réverbération mais non pas à des mots mais à des phrases complètes. Nous décidons d'extraire les phrases de Combescure du CD du Collège National d'Audioprothèse. Dans ce test, la difficulté est considérablement augmentée, il n'y a pas de silence entre les mots et la réverbération du mot précédent recouvre en partie le mot suivant. Nous décidons d'évaluer la compréhension globale de la phrase et du thème général. Nous appliquons aux phrases de Combescure un temps de réverbération de 2 secondes pour une distance de 10 mètres.

Des gens se sont levés dans les tribunes.	/
Vous éplucherez les légumes du pot-au-feu.	
Ce chasseur projette encore de partir d'ici, ce matin.	/
La poire est un fruit à pépin.	
Plus nous le connaissons, plus nous le respectons.	
Là-haut, monte la voix du pâtre qui ramène ses moutons.	/
Le courrier arrive en retard en ce moment.	
Cette cage contient mon oiseau.	
Des lièvres jouent à l'orée du bois.	/
Je te dis que ma bouteille s'abîme à la cave.	/
TOTAL	50%

Tableau n°8: Notation du score de réponse aux phrases de Combescure, patient n°1, sans traitement EchoBloc

Les résultats des autres traitements EchoBloc du patient n°1 sont disponibles en annexe page 69.

Le meilleur score est obtenu pour le traitement 12, mais cela reste assez difficile à préciser car il s'agit d'une impression générale sur le thème de la phrase.

On réitère les examens avec le patient n°2.

Il pense être de retour ici, avant la nuit.	
Des chiens nous montraient leurs crocs pointus.	/
La jeune fille se peigne devant sa glace.	/
Il a été condamné pour un vol de voiture.	
Je ne veux pas que vous le changiez pour le moment.	/
Nous avons pris froid en jouant au tennis.	
Il est désormais accablé par son travail.	
Ce bonbon contenait trop de sucre.	/
A la hâte, le métayer ensilait ses récoltes avant l'hiver.	/
Une brume épaisse d'est formée sur la mer.	/
TOTAL	40%

Tableau n°9: Notation du score de réponse aux phrases de Combescure, patient n°2, traitement EchoBloc 12

Nous n'avons pas poursuivi les tests à l'aide des phrases de Combescure car les résultats n'étaient pas aussi probants qu'avec des listes de mots. La difficulté étant trop élevée pour les patients. Le début de la phrase est comprise mais la réverbération recouvre complètement le reste de la phrase, aucune compréhension n'est alors possible.

3.2.5 TESTS EN SITUATION REELLE, DANS LE HALL DE LA FACULTE DE PHARMACIE

Cette phase de test représente une situation réelle afin de comparer l'efficacité du système EchoBloc entre une réverbération créée et une réverbération naturelle.

La première étape consiste à mesurer le temps de réverbération du hall de la Faculté de Pharmacie à l'aide d'un sonomètre de type Observer 22 60 de chez B&K et un instrument servant à faire un bruit impulsionnel excitateur, tel qu'un « clap ». C'est un signal impulsionnel se comportant comme un bruit fréquentiel large bande. Nous enregistrons différentes durées de réverbération à différentes octaves puis calculons la moyenne pour obtenir le temps de réverbération (TR moyen) du local par octave.

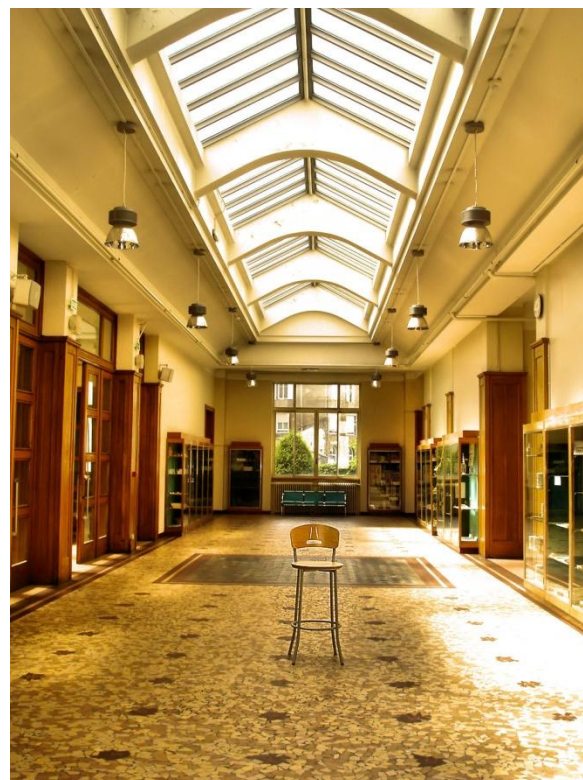


Figure 3.18 Photographie du hall de test de la Faculté de Pharmacie de Nancy

Octave (Hertz)	Mesure n°1	Mesure n°2	Mesure n°3	Mesure n°4	TR moyen par octave
125	2,09s	2,10s	2,18s	1,73s	2,02s
250	2,68s	2,46s	2,36s	2,38s	2,47s
500	3,09s	2,84s	2,98s	2,96s	2,97s
1000	3,09s	2,91s	3s	3,08s	3,02s
2000	2,74s	2,71s	2,76s	2,75s	2,74s
4000	2,12s	2,13s	2,09s	2,11s	2,11s
8000	1,32s	1,26s	1,31s	1,36s	1,31s
				TR moyen :	2,38s

Tableau n°10: Calcul du TR moyen du hall de la Faculté de Pharmacie

Le temps de réverbération moyen mesuré du hall de la Faculté de Pharmacie est d'environ 2,38 secondes sur l'ensemble du spectre.

3.2.5.1 TEST DES LISTES DE MOT DE FOURNIER EN CONDITION REELLE DE REVERBERATION

Pour ces tests, nous gardons le principe de temps de pause entre chaque mot. Le temps de réverbération est imposé par les propriétés du local, on peut donc faire varier la distance entre l'émetteur et le récepteur et les différentes puissances de traitement du système EchoBloc et le niveau sonore d'émission.



Figure 3.19 Installation du dispositif de test dans le hall de la Faculté de Pharmacie

Nous conservons les puissances de traitement EchoBloc de 0, 4, 12 et 20 pour avoir une base de comparaison avec les autres tests.

Pour le paramètre distance nous retenons les distances 1m, 5m et 10m en condition réelle.

Pour l'estimation du niveau sonore des tests, nous faisons une audiométrie vocale en champ libre à 1m avec les appareils auditifs et sans traitement EchoBloc, pour obtenir le maximum d'intelligibilité du sujet.

Le niveau retenu pour le patient 1 est de 45dB.

1m	Turbo		5m	Cheveux		10m	Carton	
	Hoquet			Citron	Savon		Pruneau	Buisson
	Plastron			Rocher			Regret	Retrait
	Raisin			Cerveau	Cadeau		Dément	Dedans
	Croyant			Soldat			Répits	
	Fourré			Muguet			Colon	
	Taquin			Bouton	Mouton		Respect	
	Morceau			Terrier			Bilan	
	Normand			Fourneau	Fourdeau		Dépôt	Pot
	Poisson			Bassin			Rachat	
TOT		100%			60%			60%

Mots erronés : 8	1ere syllabe répétée	2eme syllabe répétée
Total	3=> 37,5%	2=> 25%

Tableau n°11: Notation des réponses du patient n°1, sans traitement EchoBloc

Les résultats des tests avec les autres traitements EchoBloc pour le patient n°1 se trouvent en annexe page 70.

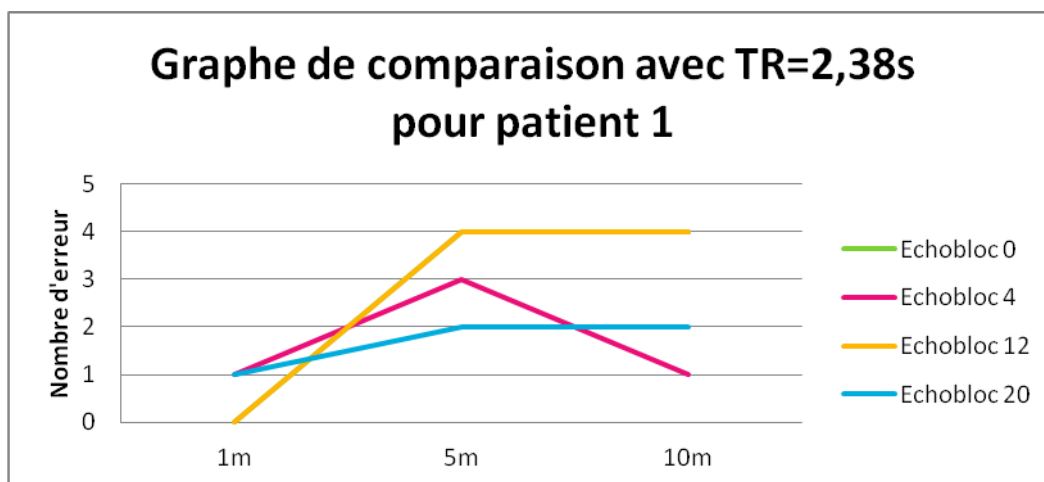


Figure 3.20 Graphe de comparaison de performance des différents systèmes EchoBloc dans le hall de la faculté pour le patient 1

Le traitement le plus efficace en distance rapprochée est le traitement 12, en distance moyenne le traitement 20 et enfin en distance éloignée, le 4. Toutefois, les écarts étant faibles entre les réponses, on peut considérer que le traitement 20 est un des plus adaptés de manière globale pour un temps de réverbération compris entre 2 et 3 secondes.

Test dans le hall, niveau d'émission sonore à 50dB pour le patient n°2:

1m	Sapin	Satin	5m	Cadet	Cavet	10m	Crayon	
	Corset			Bidon	Guidon		Château	
	Charbon			Jury			Fusain	
	Serment			Sursaut			Débit	Dégot
	Radeau			Rentier			Glouton	/
	Valet			Flacon			Baudet	Vaudet
	Cousin			Bourreau			Dégout	Névo
	Foyer			Piment			Combat	Pombas
	Pardon	Patron		Béton	Béquet		Profit	Profil
	Hibou			Lingot			Cerveau	
TOT		80%			70%			40%

Mots erronés : 11	1ere syllabe répétée	2eme syllabe répétée
Total	5=> 45%	3=> 27%

Tableau n°12: Notation des réponses du patient n°2, sans traitement EchoBloc

Les résultats des tests avec les autres traitements EchoBloc pour le patient n°2 se trouvent en annexe page 71.

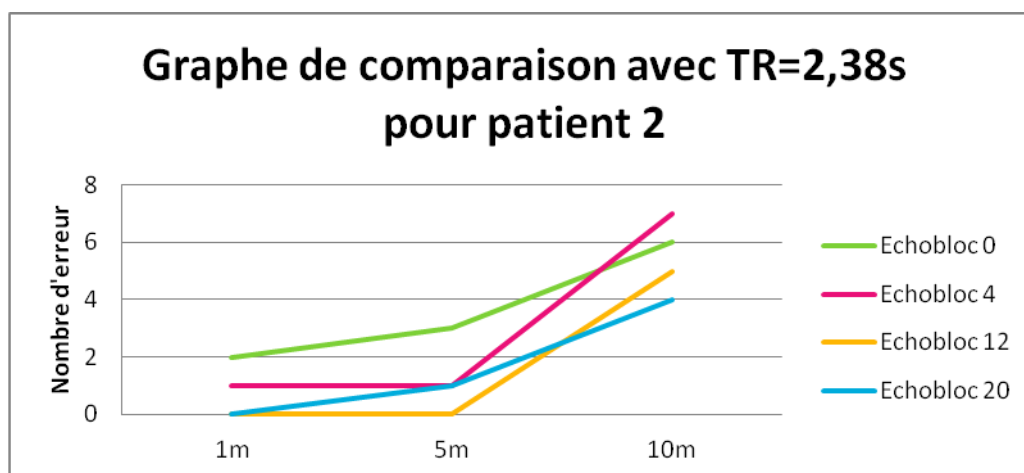


Figure 3.21 Graphe de comparaison de performance des différents systèmes EchoBloc dans le hall de la Faculté pour le patient 2

Pour un temps de réverbération compris entre 2 et 3 secondes, les traitements qui s'avèrent être les plus efficaces sont le 12 et le 20. Nous obtenons sensiblement les mêmes résultats entre les deux.

Profil du patient test n°3 :

Cette personne est appareillée depuis de nombreuses années des deux cotés. Elle ne possède pas son audiogramme, ne peut accéder à la salle d'audiométrie de la Faculté de Pharmacie, située au cinquième étage. Il faut donc réaliser une audiométrie sur place dans les conditions du test, en champ libre dans le hall. Il ne s'agira pas de réaliser une adaptation fine précise, mais d'obtenir un point de repère pour les tests, c'est-à-dire le niveau sonore minimum qu'il faut pour obtenir le maximum d'intelligibilité à 1 mètre.

Il faut tenir compte du fait que les niveaux envoyés sont exprimés en décibel SPL (Sound Pressure Level) et qu'il faut donc les convertir grâce aux coefficients de pondération avant d'entrer les valeurs de l'audiogramme dans le logiciel d'adaptation.

Fréquences en Hertz	250	500	1000	2000	4000	6000
Seuil binaurale SPL en dB	84	71	75	81	66	66
Pondération binaurale	11	7	5	1	-4	16
Perte en dB HL	73	64	70	80	70	50

Tableau n°13: Conversion de l'audiométrie du patient n°3

Nous programmons les appareils auditifs selon cette perte mesurée en condition réelle. Toujours sans aucun autre traitement mis à part le réglage EchoBloc.

Le niveau d'émission sonore retenu pour le test est de 67dB, niveau pour lequel on a obtenu le maximum d'intelligibilité à une distance de 1 mètre.

1m	Rideau		5m	Parfum		10m	Poussin	
	Tampon			Cachet			Chevreau	
	Boudin			Ravin	Rein		Forfait	Portait
	Vacher			Dragon	/		Mari	/
	Débit	Délit		Lila	/		Bosquet	
	Marteau			Récit			Garçon	
	Cadran			Couvent			Sifflet	
	Requin			Gallon			Boitier	
	Goudron			Courrier			Cerveau	Caveau
	Clochet			Crapaud	Drapeau		Taudis	Tambour
TOT		90%			60%			60%

Mots erronés : 9	1ere syllabe répétée	2eme syllabe répétée
Total	1=> 11%	2=> 22%

Tableau n°14: Notation des réponses du patient n°3, sans traitement EchoBloc

Les résultats des tests avec les autres traitements EchoBloc pour le patient n°3 se trouvent en annexe page 72.

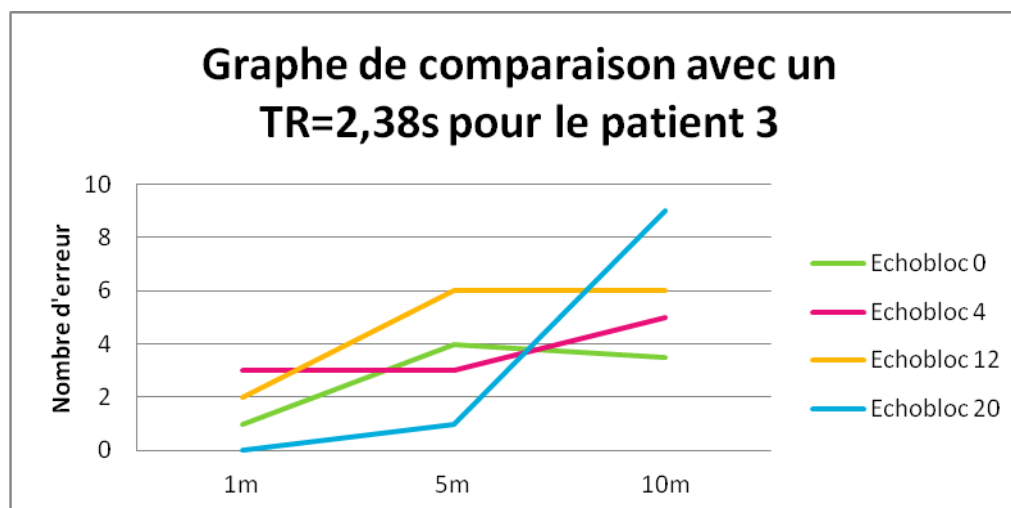


Figure 3.22 Graphe de comparaison de performance des différents systèmes EchoBloc dans le hall de la faculté pour le patient 3

Dans le cas présent, le traitement EchoBloc 20 est celui le plus approprié pour les distances 1m et 5m, mais devient le moins bon résultat pour la distance 10m. Pour cette dernière distance, c'est lorsqu'il n'y a pas de traitement EchoBloc que les résultats sont meilleurs.

Nous pouvons maintenant regrouper les différents résultats des patients afin de voir quel traitement EchoBloc paraît être le plus efficace en fonction des situations rencontrées.

TR=2,38s	EchoBloc 0	EchoBloc 4	EchoBloc 12	EchoBloc 20
1m	0%	0%	50%	50%
5m	0%	0%	33%	66%
10m	33%	33%	0%	33%

Tableau n°15: Synthèse des résultats des différents traitements EchoBloc en condition réelle

Le tableau n°15 montre que le traitement 20 obtient le plus de réponses positives dans les situations les plus variées, pour un TR compris entre 2 et 3 secondes.

3.3 ANALYSES PHONETIQUES

Avant d'analyser d'un point de vue phonétique les résultats des différents tests réalisés, rappelons quelques notions en phonétique et sur la parole.

« La parole comme objet purement acoustique possède des caractéristiques énergétiques, temporelles et spectrales. La particularité du langage est que, sur cet objet physique, sont extraits de nombreux codages phonétiques. [...] Dans le silence, la détection d'indice d'enveloppe temporelle est possible. Mais devient difficile en présence de bruit de fond continu de large bande spectrale. » [17]

En effet, il faut, dans le bruit ou dans la réverbération, détecter des indices de structures fines pour permettre la séparation du bruit masquant de la parole.

Comme tout signal acoustique, *« la parole est caractérisée par sa structure spectrale (fréquences) et par sa structure temporelle (variation de l'intensité en fonction du temps). » [18]*

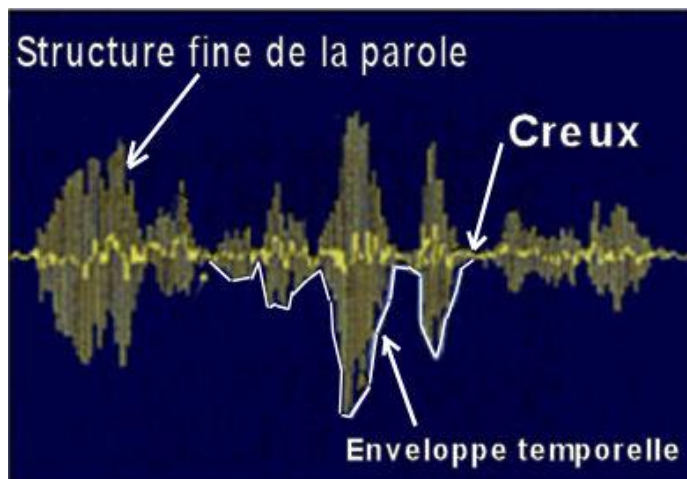


Figure 3.23 Enveloppe temporelle d'un signal de la parole [18]

Remarquons des éléments majeurs de la parole :

Une variation rapide de l'intensité appelée structure fine qui est une modulation comprises entre 150 et 8000 Hz,

Une variation plus lente du signal correspondant à l'enveloppe temporelle. Elle représente le signal qui module la structure fine. « *Le débit syllabique est contenu dans les modulations d'amplitude de l'enveloppe temporelle inférieures à 50Hz.* » [19]

En milieu bruyant ou réverbérant, toutes ces données se mélangent avec, soit le bruit de fond, soit la réverbération, il devient dès lors beaucoup plus difficile de repérer ces structures qui composent la parole.

D'après l'étude de C. LORENZI, « *la notion de démasquage est l'aptitude à isoler la parole du bruit de fond. Il s'agit de la capacité d'un sujet à tirer profit de l'information de parole présente dans les creux des fluctuations du bruit* » [20] comme dans le cas de la réverbération.

Les normo-entendants disposent d'une grande capacité de démasquage, plus importante que celle des personnes atteintes de surdités neurosensorielles. C'est une des raisons pour lesquelles les fabricants tentent de tenir compte du traitement de la structure fine dans leur traitement du signal. Cela dans le but d'obtenir de meilleurs scores d'intelligibilité dans le bruit ou avec de la réverbération, comme le système EchoBlock de Phonak™.

Le démasquage dans les creux des fluctuations du bruit se fait grâce à la structure fine de la parole [21]. Si nous remplaçons la structure fine d'un signal par un bruit

blanc mais que l'on conserve l'enveloppe temporelle de la parole, nous serons capables de reconnaître 90% du message.

D'autres recherches montrent qu'un bruit stationnaire va altérer davantage la compréhension de la parole qu'un bruit fluctuant [22]. Un bruit fluctuant, même s'il possède un spectre de puissance identique au bruit stationnaire à long terme, permet au normo-entendant de tirer profit des fluctuations temporelles et des creux. Ceci pour récupérer des informations phonétiques et permettre ainsi une amélioration de la compréhension dans le bruit. L'intelligibilité dans le bruit s'avère donc bien meilleure en présence de bruit interrompu que dans le bruit stationnaire.

Le problème qui se pose pour la réverbération, c'est qu'il s'agit d'un bruit constant dans une phrase complète par exemple, mais devient un bruit fluctuant lorsque l'intervalle temporel entre les mots devient suffisamment long pour que la réverbération puisse décroître et former ainsi un creux (voir figure 1.11). Ce qui rend difficile la recherche d'indices temporels et fréquentiels liés à la parole.

Une étude de F. LEFEVRE [23] réalisée sur 70 malentendants montre que statistiquement, la reconnaissance des consonnes est plus difficile que celles des voyelles.

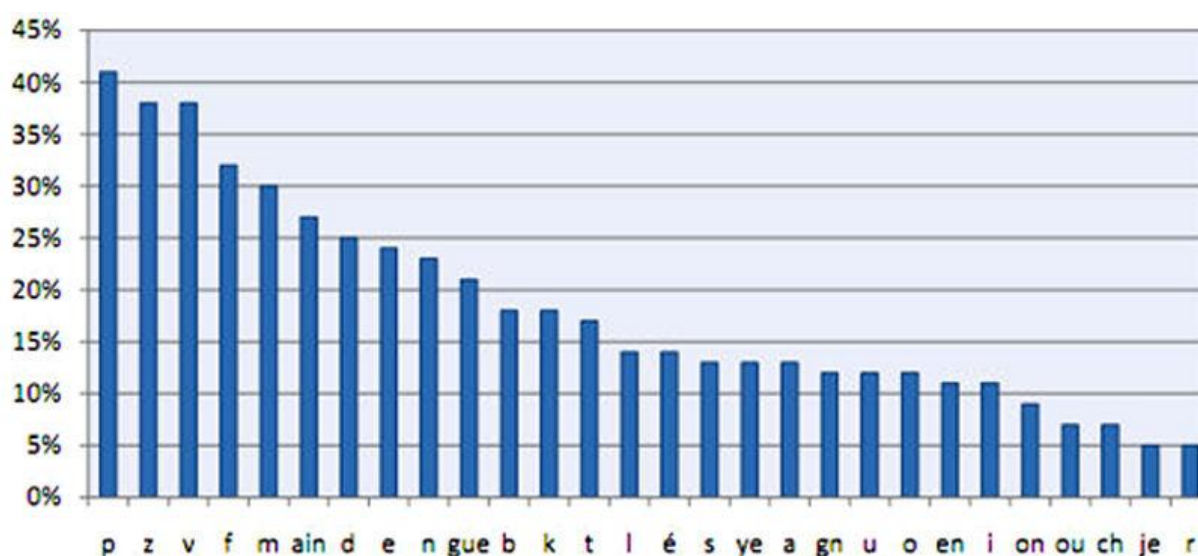


Figure 3.24 Pourcentage d'erreurs de perception dans le silence de chaque phonème [23]

La figure 3.24, nous indique le taux d'erreurs de perception de chaque trait acoustique, et montre que les consonnes sont en tête de ces statistiques.

Nous pouvons maintenant regrouper et analyser les différents résultats obtenus pour chaque liste de mots.

Traitement EchoBloc	Moyenne des répétitions correctes de la première syllabe	Moyennes des répétitions correctes de la deuxième syllabe
0	38,3%	18%
4	43%	16%
12	25,9%	15%
20	30,2%	17%

Tableau n°16: Moyenne de répétition des syllabes en fonction des différents traitements EchoBloc

A partir de ces résultats (tableau n°16), la répétition de la première syllabe est la meilleure pour le traitement EchoBloc 4. Puis une baisse du pourcentage de répétition correcte pour les autres traitements. Cela reste une comparaison générale car il s'agit d'une moyenne et tous les temps de réverbération y sont pris en compte.

De manière générale, dans les tests avec listes de mots, lorsque les mots répétés sont erronés, la première syllabe est mieux répétée que la deuxième syllabe. Nous pouvons en tirer une première conclusion : la réverbération de la première syllabe masque en partie la deuxième syllabe et la rend plus difficile à comprendre. En effet, nous remarquons que, dans les mots répétés, bien souvent la sonorité de fin de mot est bien répétée, alors que le phonème qui fait la jonction entre les deux syllabes est toujours manquant ou transformé. Les consonnes sont absorbées par la réverbération en fonction du TR et de l'intensité de la voyelle ou de la syllabe qui précède.

Un son de forte intensité réverbéré masque le son qui suit et comble les lacunes vocales nécessaires à la compréhension, il en résulte une perte d'information. Au vu des résultats précédents, la tendance ne s'égale pas entre la répétition des premières et deuxièmes syllabes. Le pourcentage de répétition de la deuxième syllabe reste inférieur et constant dans tous les cas. Quelque soit le traitement EchoBloc appliqué, les différences ne sont pas significatives entre les différents degrés de traitement. Nous pouvons en conclure que le traitement Echobloc n'agit pas à l'échelle syllabique.

CONCLUSION

Il n'y a pas réellement de mode d'emploi à suivre pour le traitement EchoBloc, le besoin en puissance est différent pour chacun et en fonction des situations rencontrées.

Ce que l'on peut retenir, c'est qu'il faut bien évaluer, cibler la plainte du patient dans un premier temps. La gêne ne doit pas être constante, seulement dans des endroits particuliers dits réverbérant.

Pour ces patients évoquant ce type de plainte, il serait toutefois intéressant de mettre au point des tests d'auditions fondés sur le même principe que les tests réalisés dans ce mémoire. Envoyer des listes de mots sur lesquels on applique différents temps de réverbération et tester les différentes puissances de traitement EchoBloc pour cibler laquelle conviendrait le mieux au patient. Toutefois cela nécessiterait aussi de détecter dans quelle situation le patient en a besoin, dans quel lieu ? Ce qui implique la nécessité de mesurer le temps de réverbération du lieu où la gêne se fait ressentir.

Cela entraîne également une multitude de tests à réaliser entre les différentes puissances de traitement du système EchoBloc à tester et les différents temps de réverbération à appliquer, si les lieux gênant se multiplient. Toutes ces conditions entraînent des examens particulièrement longs et non adaptés aux personnes présentant une certaine fatigabilité face aux tests.

Le traitement Echobloc est donc à considérer comme un outil permettant l'amélioration de la compréhension dans des cas bien précis ; si le taux de réverbération change, l'amélioration n'est plus présente. Il en est de même pour la puissance du système. A chaque patient son traitement, à chaque situation son traitement.

Bibliographie :

- [1] Christian GELIS, Bases techniques et principe d'application de la prothèse auditive, Sauramps medical, 1993, p31
- [2] Joël DUCOURNEAU, Cours d'acoustique, D.U. nuisances sonores, Faculté de Pharmacie de Nancy, 2010/2011
- [3] Christian GELIS, Bases techniques et principe d'application de la prothèse auditive, Sauramps medical, 1993, p32
- [4] Jacques JOUHANEAU, Acoustique des salles, formulaire C3 360, p5
- [5] R. Resniek, D. Halliday, Ondes, optique, et physique moderne, editions du renouveau pédagogique, 1980.
- [6] Christian GELIS, Bases techniques et principe d'application de la prothèse auditive, Sauramps medical, 1993, p65
- [7] Jacques JOUHANEAU, Acoustique des salles, formulaire C3 360, p18
- [8] Antonio Fischetti, Initiation à l'acoustique, Belin sup, 2004
- [9] Christian GELIS, Bases techniques et principe d'application de la prothèse auditive, Sauramps medical, 1993
- [10] Jacques JOUHANEAU, Acoustique des salles, formulaire C3 360, p8
- [11] Site internet :
<http://dictionnaire.phpmyvisites.net/definition-RAPPORT-SIGNAL-BRUIT-4963.htm>
- [12] Site internet :
http://www.phonak.com/fr/b2c/fr/products/hearing_instruments/audeo-s/overview.html
- [13] Rapport de la présentation réalisée par Phonak lors du stage fabricant, 2011
- [14] Site internet :
http://www.Phonak.com/content/dam/Phonak/b2b/C_M_tools/Library/Field_Study_News/en/fsn_EchoBlock_mar05.pdf
- [15] Jacques JOUHANEAU, Acoustique des salles, formulaire C3 360
- [16] CD Audiométrie vocale, fourni par le College National d'Audioprothèse
- [17] Xavier RENARD, Précis d'audioprothèse, Production phonétique, acoustique et perceptive de la parole, 2008, p 70

[18] Xavier RENARD, Précis d'audioprothèse, Production phonétique, acoustique et perceptive de la parole, Figure sur l'enveloppe temporelle d'un signal de la parole, 2008, p 285

[19] C. LORENZI, identification de l'enveloppe temporelle chez le malentendant, 2004, p191

[20] C.LORENZI, Les cahiers de l'audition, vol.20 Mai/juin 2007.Démasquage de la parole dans le bruit, chez les sujets entendants, malentendants et implantés cochléaires, 2003, p55

[21] C. LORENZI, les cahiers de l'audition N°4, 2007, p3

[22] M. K. Qin, A. J. Oxenham, Licklider, Processus de dépistage dans un bruit fluctuant, J.Acoustik Soc, 1950 et 2003, p391 à 439

[23] F. LEFEVRE, pourcentage d'erreurs de perception dans le silence de chaque phonème mesuré avec le test cochléaire sur 70 malentendants, Précis d'audioprothèse, Production, phonétique acoustique et perceptive de la parole, 2008, p393

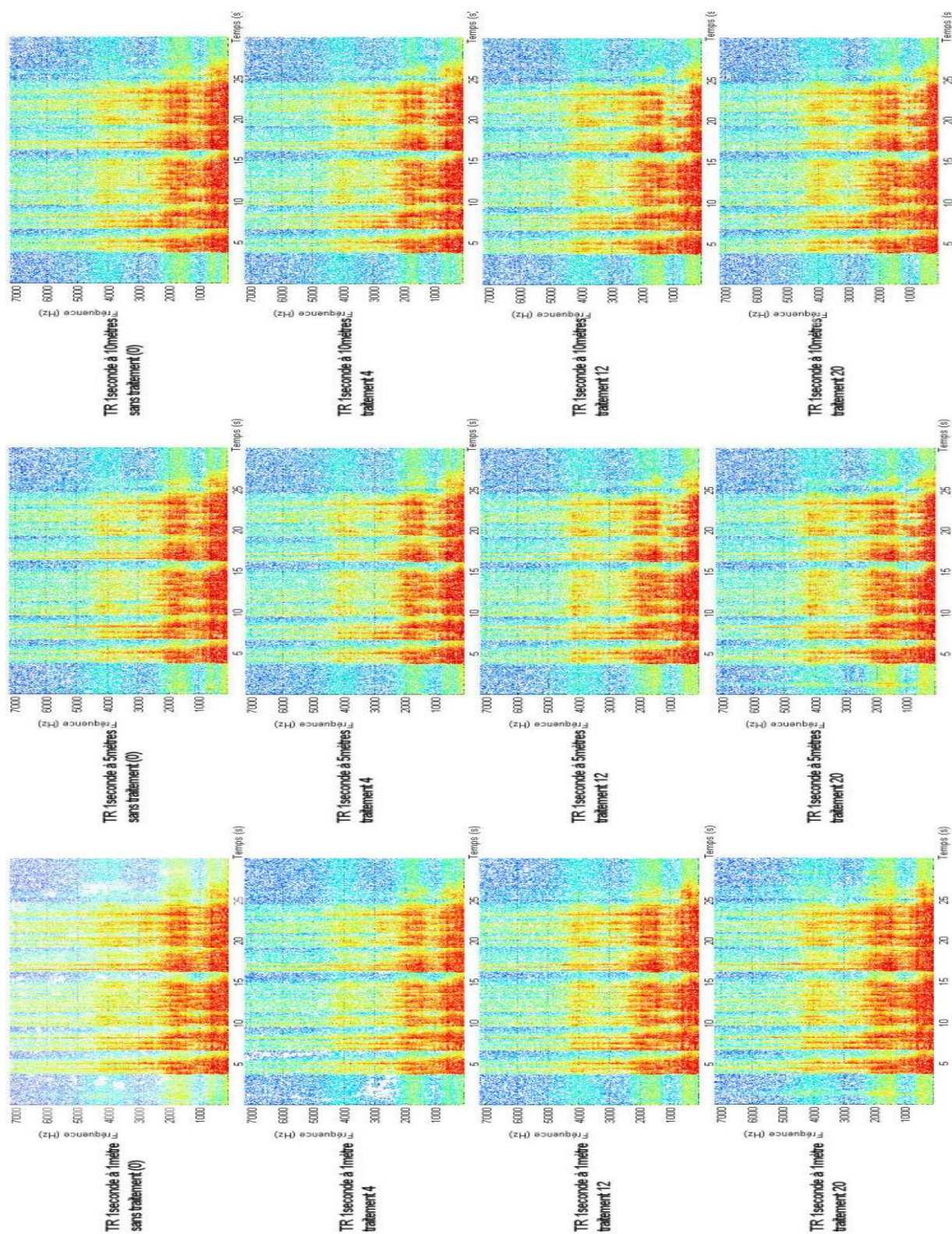
Par la présente, je certifie avoir pris connaissance du mémoire de Monsieur Virgile VARIN.

A Metz, le

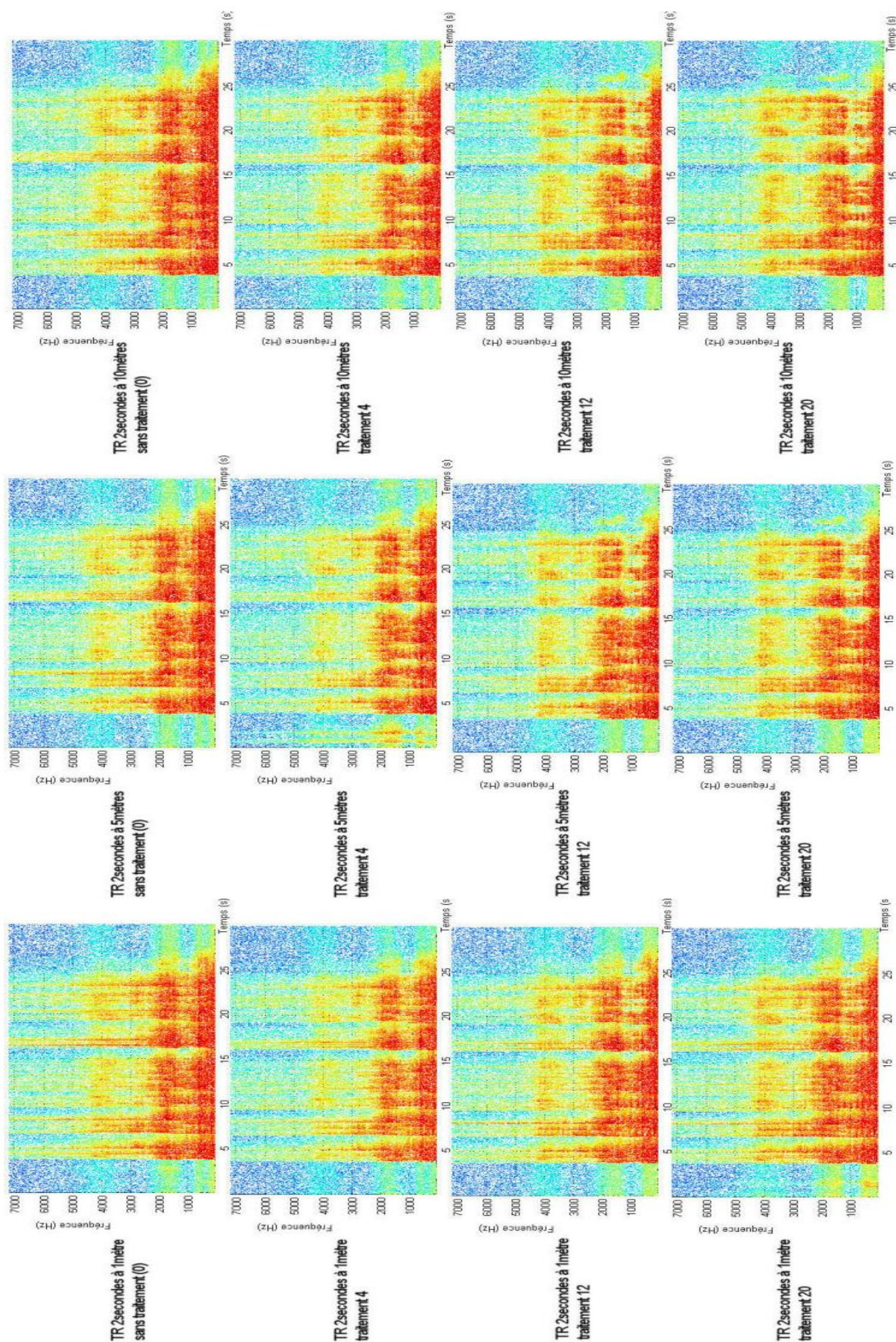
Madame Caroline DELLI-PIZZI.

ANNEXES :

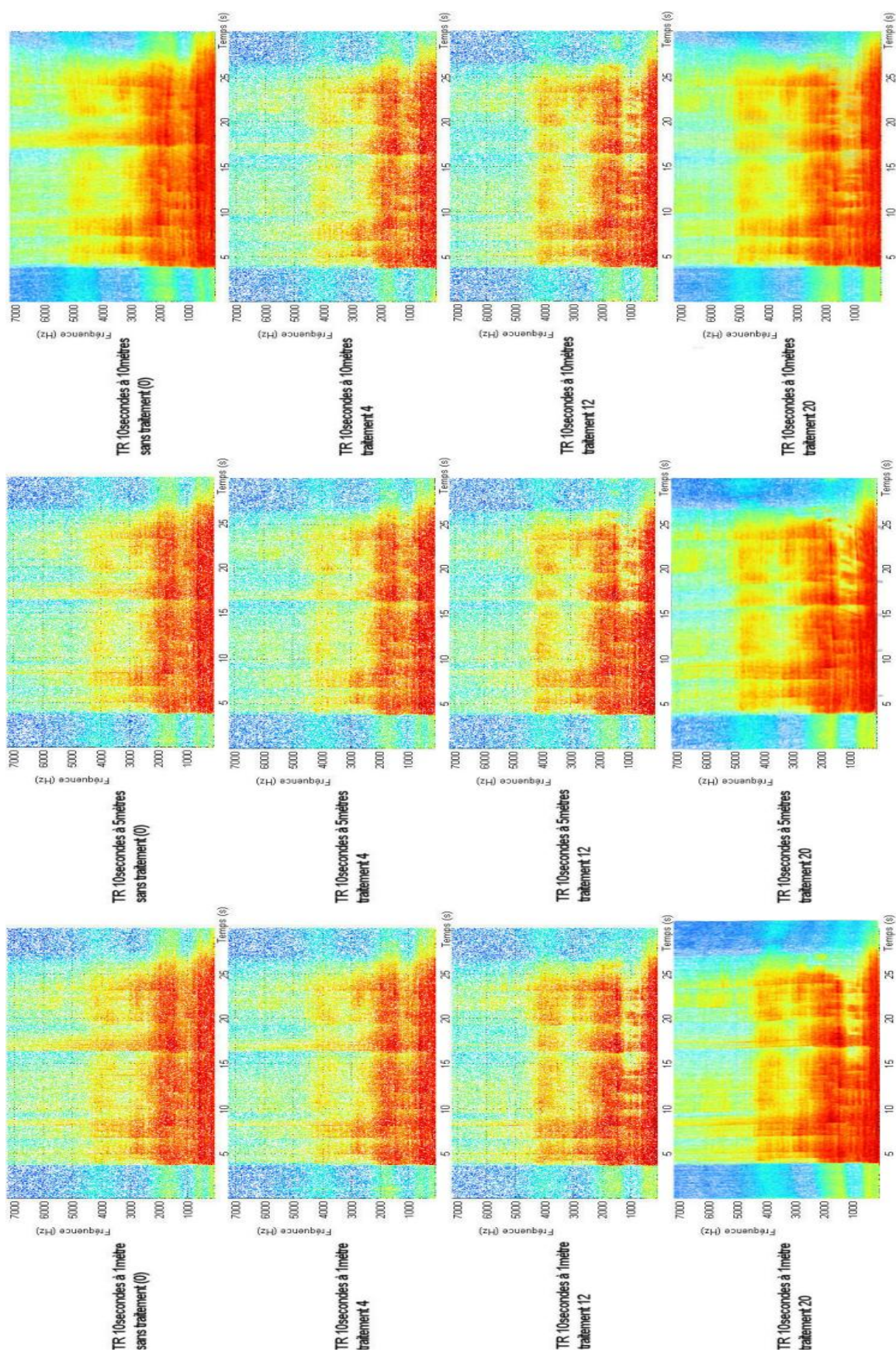
[Annexe 1] Comparaison des différents Tr 1seconde :



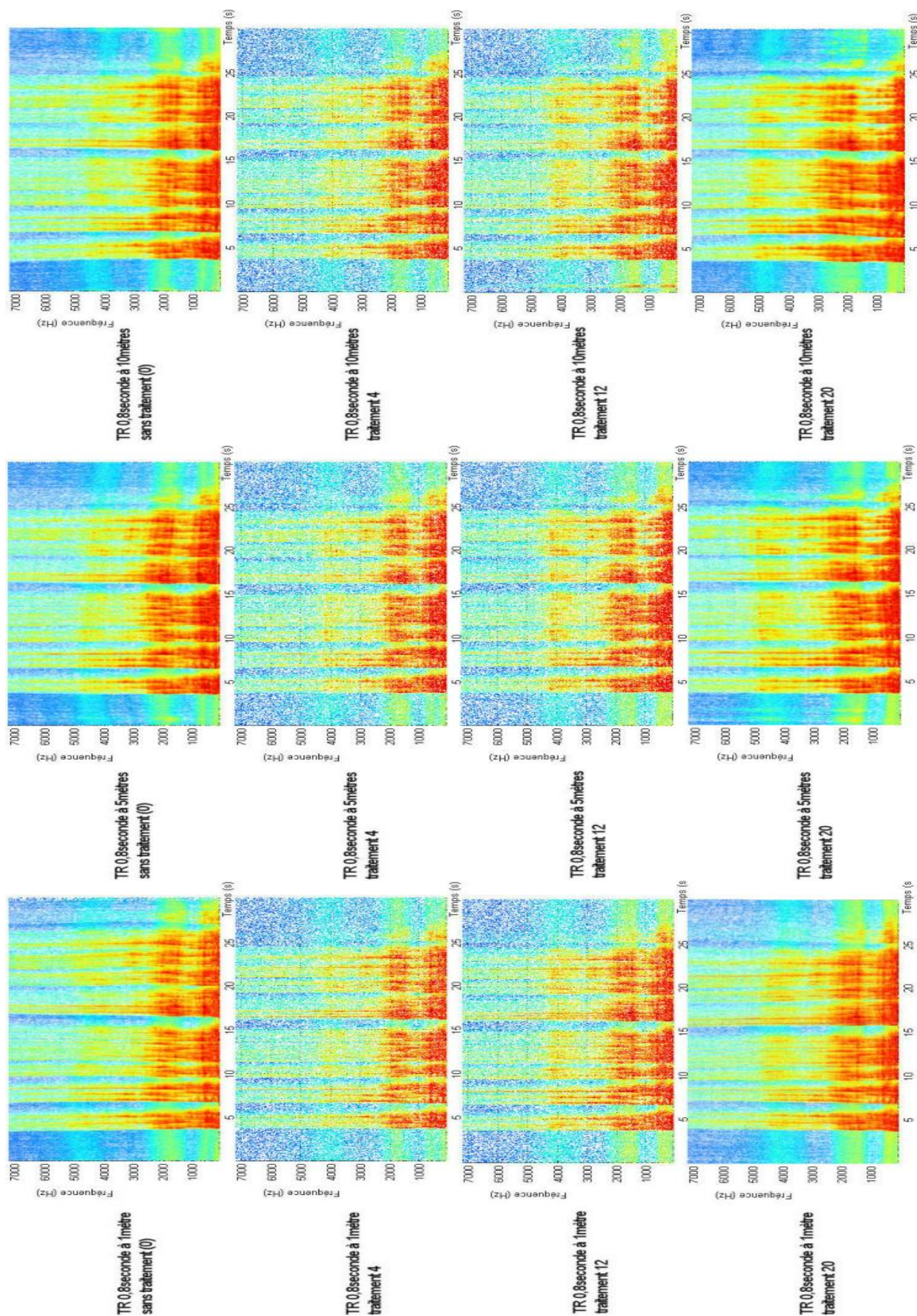
[Annexe 2] Comparaison des différents Tr 2 secondes :



[Annexe 3] Comparaison des différents Tr 10 secondes :



[Annexe 4] Comparaison des différents Tr 0,8 seconde :



[Annexe 5] Patient n°1 :

traitement EchoBloc 4

TR1	Parfum		TR2	Poussin	Poucet	TR3	Nougat	
	Cachet			Chevreau			Devis	Demi
	Ravin			Forfait			Baquet	Pâté
	Dragon			Mari			Débris	Défis
	Lila	Oui la		Bosquet			Guichet	
	Récit			Garçon			Bijou	/
	Couvent			Sifflet			Cahier	
	Gallon	Gagnant		Boitier			Goujon	
	Courrier			Cerveau			Dessin	
	Crapaud			Taudis			Coteau	
TOTAUX		80%			90%			60%

Mots erronés : 7	1ere syllabe répétée	2eme syllabe répétée
Total	4=> 57%	1=>14%

traitement EchoBloc 12

TR1	Rideau		TR2	Turbo	Turgot	TR3	Cheveux	
	Tampon			Hoquet			Citron	
	Boudin			Plastron	Bassin		Rocher	
	Vacher			Raisin			Cerveau	Cargos
	Débit			Croyant	Royaume		Soldat	Solvant
	Marteau			Fourré	Foret		Muguet	Mulet
	Cadran			Taquin			Bouton	Mouton
	Requin			Morceau			Terrier	
	Goudron			Normand			Fourneau	Fourgon
	Clochet			Poisson			Bassin	
TOTAUX		100%			60%			50%

Mots erronés : 9	1ere syllabe répétée	2eme syllabe répétée
Total	4=> 44%	2=> 22%

traitement EchoBloc 20

TR1	Grillon		TR2	Pigeon		TR3	Repas	
	Terrain	Terreaux		Carnet			Complot	
	Soulier			Noyau			Savon	
	Gazon			Jargon	Japon		Curé	
	Faisceau			Portait			Sanglot	
	Billet			Blason			Poulet	
	Rabais			Salut	Saint-doux		Chainon	Chaineau
	Plateau			Délai			Sachet	
	Cordon			Sabot			Remoud	
	Ticket			Jumeau			Coquin	
TOTAUX		90%			90%			90%

Mots erronés : 4	1ere syllabe répétée	2eme syllabe répétée
Total	2=> 50%	0=> 0%

[Annexe 6] Patient n°2 :

Traitement EchoBloc 4

TR1	Talon		TR2	Rubis		TR3	Corbeau	Corbillier
	Joyau			Collet	Gaunet		Fossé	
	Filet			Frisson			Créneau	Blainau
	Diamant			Museau	/		Sentier	
	Coussin			Casier			Jarret	
	Danger			Wagon	Bateau		Ruisseau	
	Manchot			Grelot	Frelon		Ciment	
	Degrés			Japon	Jameau		Péché	
	Couteau	Bouton		Gousset			Débit	Billet
	Neveu			Monceau	Mousseau		Maillot	
TOT		90%			40%			70%

Mots erronés : 10	1ere syllabe répétée	2eme syllabe répétée
Total	2=> 20%	2=> 20%

Traitement EchoBloc 12

TR1	Réseau		TR2	Cadet		TR3	Crayon	
	Uisson			Bidon			Chapeau	
	Pavet			Jury			Fusain	
	Genou			Sursaut			Délit	/
	Bourgeon	Gourdin		Rentier			Glouton	
	Gradin			Flacon			Baudet	Godet
	Filon	Pilot		Bourreau			Dépôt	Pierrot
	Guillemet	Guinet		Piment			Combat	
	Traineau			Béton			Profit	
	Capot	Cerveau		Lingot			Cerveau	
TOT		60%			100%			70%

Mots erronés : 7	1ere syllabe répétée	2eme syllabe répétée
Total	1=> 14%	1=> 14%

Traitement EchoBloc 20

TR1	Fortin		TR2	Mandat		TR3	Baron	Barret
	Troupeau	Pourpeau		Feuillet			Chagrin	
	Serment			Gâteau	Caveau		Tableau	Caveau
	Navet			Voilier			Flocon	Tournier
	Cadeau	Caveau		Fuseau	Plumeau		Débat	Guépard
	Fripon			Volcan			Buffet	Furet
	Témoin	Quénain		Charriot			Dépôt	Défit
	Cornet			Jalon	/		Bouffon	Cousin
	Tapis			Civet			Vaisseau	
	Convoi			Gourdin	/		Dossier	
TOT		70%			60%			30%

Mots erronés : 14	1ere syllabe répétée	2eme syllabe répétée
Total	3 => 21%	1=> 7%

[Annexe 7] Phrases combescure patient n°1 :

TR2 à 10m, traitement EchoBloc 4

Il s'est réfugié dans ma chambre.	
Le troupeau s'abreuvait au ruisseau.	/
Le client s'attend à ce que vous fassiez une réduction.	
Chaque fois que je me lève, ma plaie me tire.	/
Une rançon est exigée par les ravisseurs.	
Ainsi cette comédie est en un acte.	/
Papa aime mon vin quand il est bon.	/
Le ciel est tout noir il va tomber des cordes.	/
On dit que l'essor de ce village est important.	
Ce soir, nous ne nous coucherons pas tard.	/
TOTAL	40%

TR2 à 10m, traitement EchoBloc 12

Lentement des canes se dirigent vers la marre.	
Une goélette déploie ses voiles.	
Le facteur va porter le courrier.	/
Bien sur, je connais son nom.	
Maman prend un verre et une assiette.	/
Désormais, je me tournerai quand il partira.	
Les avions tournent au-dessus de la place.	
Mettez la faux ici, sous ma tente.	/
Je suis resté sourd à ses cris.	
Le chameau est loin de son abri.	
TOTAL	70%

TR2 à 10m, traitement EchoBloc 20

Il pense être de retour ici, avant la nuit.	
Des chiens nous montraient leurs crocs pointus.	/
La jeune fille se peigne devant sa glace.	/
Il a été condamné pour un vol de voiture.	
Je ne veux pas que vous le changiez pour le moment.	/
Nous avons pris froid en jouant au tennis.	/
Il est désormais accablé par son travail.	
Ce bonbon contenait trop de sucre.	
A la hâte, le métayer ensilait ses récoltes avant l'hiver.	/
Une brume épaisse d'est formée sur la mer.	/
TOTAL	40%

[Annexe 8] Test dans le hall de la Faculté de Pharmacie, patient 1 :

Traitement EchoBloc 4 :

1m	Mandat		5m	Fortin		10m	Tronçon	
	Feuillet			Troupeau			Caillot	Cadeau
	Gâteau			Sermon	Cerveau		Banquet	
	Voilier			Navet			Mépris	
	Fuseau			Cadeau			Jasmin	
	Volcan			Fripon			Décret	
	Charriot			Témoin	Biberon		Taureau	
	Jalon			Carnet			Patron	
	Civet			Tapis			Chemin	
	Gourdin			Convoi	Pontoi		Fracas	
TOT		100%			70%			90%
Mots erronés : 4			1ere syllabe répétée			2eme syllabe répétée		
Total			2=> 50%			0=> 0%		

Traitement EchoBloc 12 :

1m	Cadet		5m	Crayon		10m	Logis	Longer
	Bidon			Château	Chapon		Destin	
	Jury			Fusain			Perdraux	
	Sursaut			Débit	Rébit		Chalet	
	Rentier			Glouton			Fagot	Wagon
	Flacon			Baudet	Ourlet		Toupet	
	Bourreau			Dégot	Négon		Compas	Combat
	Piment			Combat			Héron	Héros
	Béton			Profit			Tricot	
	Lingot			Cerveau			Froment	
TOT		100%			60%			60%

Mots erronés : 8	1ere syllabe répétée	2eme syllabe répétée
Total	3=> 37,5 %	2=> 25%

Traitement EchoBloc 20 :

1m	Sapin		5m	Reflet		10m	Coupon	
	Corset			Croquis			Marché	
	Charbon			Moineau	Oiseau		Doyen	Botteux
	Serment	Servant		Reflet			Torrent	
	Radeau			Projet			Festin	Destin
	Valet			Chausson			Cliché	
	Cousin			Reçu			Drapeau	
	Foyer			Déchet			Juron	
	Pardon			Fragment			Pari	
	Hibou			Renom	Remou		Sujet	
TOT		90%			80%			80%

Mots erronés : 5	1ere syllabe répétée	2eme syllabe répétée
Total	2=> 40%	1=> 20%

[Annexe 9] Test dans le hall de la Faculté de Pharmacie, patient 2 :

Avec traitement EchoBloc 4 :

1m	Logis		5m	Tronçon		10m	Fortin	Patron
	Destin			Caillot	Canaux		Troupeau	Pompon
	Perdraux			Banquet			Sermon	Cerveau
	Chalet			Mépris			Navet	
	Fagot			Jasmin			Cadeau	Caveau
	Toupet			Décret			Fripon	Tripon
	Compas	Combat		Taureau			Témoin	Démon
	Héron			Patron			Carnet	Poulet
	Tricot			Chemin			Tapis	
	Froment			Fracas			Convoi	
TOT		90%			90%			30%

Mots erronés : 9	1ere syllabe répétée	2eme syllabe répétée
Total	4=> 44%	1=> 11%

Avec traitement EchoBloc 12 :

1m	Mandat		5m	Baron		10m	Corbeau	Fardeau
	Feuillet			Chagrin			Fossé	
	Gâteau			Tableau			Clairon	
	Voilier			Flocon			Sentier	Sorcier
	Fuseau			Débat			Jarret	Carnet
	Volcan			Buffet			Ruisseau	
	Charriot			Dépit			Ciment	
	Jalon			Bouffon			Péché	
	Civet			Vaisseau			Débris	Dégout
	Gourdin			Dossier			Maillot	Bâillon
TOT		100%			100%			50%

Mots erronés : 5	1ere syllabe répétée	2eme syllabe répétée
Total	1=> 20%	0=> 0%

Avec traitement EchoBloc 20 :

1m	Carton		5m	Coupon		10m	Reflet	
	Pruneau			Marché			Croquis	
	Regret			Doyen			Moineau	Poison
	Dément			Torrent			Reflet	Dévou
	Répits			Festin			Projet	
	Colon			Cliché			Chausson	
	Respect			Drapeau			Reçu	
	Bilan			Juron	Luron		Déchet	
	Dépôt			Pari			Fragment	/
	Rachat			Sujet			Renom	Remou
TOT		100%			90%			60%

Mots erronés : 5	1ere syllabe répétée	2eme syllabe répétée
Total	1=> 20%	1=> 20%

[Annexe 10] Test dans le hall de la Faculté de Pharmacie, patient 2 :

Avec traitement EchoBloc 4 :

1m	Sapin	Satin	5m	Reflet		10m	Coupon	Pompon
	Corset			Croquis			Marché	
	Charbon			Moineau	Poisson		Doyen	Voyeur
	Serment			Reflet			Torrent	
	Radeau	Râteau		Projet			Festin	Destin
	Valet	Balais		Chausson			Cliché	Déchet
	Cousin			Reçu	Rejet		Drapeau	
	Foyer			Déchet			Juron	
	Pardon			Fragment			Pari	Pardon
	Hibou			Renom	Rebond		Sujet	
TOT		70%			70%			50%

Mots erronés : 11	1ere syllabe répétée	2eme syllabe répétée
Total	5=> 45%	4=> 36%

Avec traitement EchoBloc 12 :

1m	Turbo	Quiproquo	5m	Cheveux		10m	Carton	Caleçon
	Hoquet	Bouquet		Citron	/		Pruneau	/
	Plastron			Rocher			Regret	Reflet
	Raisin			Cerveau	Dindon		Dément	/
	Croyant			Soldat			Répits	/
	Fourré			Muguet	Murié		Colon	
	Taquin			Bouton	Mouton		Respect	
	Morceau			Terrier	Dernier		Bilan	
	Normand			Fourneau	/		Dépôt	Métro
	Poisson			Bassin			Rachat	
TOT		80%			40%			40%

Mots erronés : 14	1ere syllabe répétée	2eme syllabe répétée
Total	2=> 14%	2=> 14%

Avec traitement EchoBloc 20 :

1m	Mandat		5m	Dentier		10m	Nougat	Théâtre
	Feuillet			Boulon			Devis	Nœud
	Gâteau			Hameau			Baquet	Laquait
	Voilier			Conflit	Congrès		Débris	Beret
	Fuseau			Bonnet			Guichet	Pichet
	Volcan			Fusil			Bijou	Giron
	Charriot			Rayon			Cahier	Cadet
	Jalon			Bandeau			Goujon	Boujon
	Civet			Relai			Dessin	Médecin
	Gourdin			Canon			Coteau	
TOT		100%			90%			10%

Mots erronés : 10	1ere syllabe répétée	2eme syllabe répétée
Total	2=> 20%	4=> 40%

N° d'identification :

LE SYSTÈME ECHOBLOC : TRAITEMENT DU SIGNAL DANS LES MILIEUX RÉVERBÉRANTS

Soutenue le 3 novembre 2011

Par Virgile VARIN

RESUME

A l'instar du bruit de fond, la réverbération est perçue comme un signal gênant, rendant particulièrement difficile la communication pour les déficients auditifs et normo-entendants.

La technologie EchoBloc du fabricant Phonak a été mise à disposition des audioprothésistes en réponse à ces problèmes de compréhension en milieu réverbérant. Cet algorithme de calcul pour les porteurs d'aides auditives se propose d'améliorer confort et intelligibilité dans ces milieux.

Le but de cette étude est de présenter le système EchoBloc et d'analyser son mode opératoire. Et cela au travers de tests montrant son efficacité sur l'intelligibilité et le confort en milieu réverbérant selon certaines conditions.

MOTS CLES

REVERBERATION TRAITEMENT DU SIGNAL COMPREHENSION PHONAK
ECHOBLOC INTELLIGIBILITE CONFORT