

Rapport

Réalisé par :

Abou el haoul Houssam
Eddine21017164

Taib Hicham 190000088

Kerchaoui Omar 190000097

Oudada Ayoub 19007144

Le 03 janvier 2022

—

Traitement du signal

—

Encadré par :

Mme. Madini Zhours

SOMMAIRE

1.	Introduction	2
2.	Définition.....	2
2.1.	Définition du Petit Larousse	2
2.2.	Distorsion et traitement du signal.....	2
3.	Les différents types de distorsions.....	3
4.	Les distorsions linéaires	4
4.1.	Définition.....	4
4.2.	Causes.....	4
4.3.	Interprétation	4
5.	Les distorsions d'amplitude ou distorsions non linéaires	4
5.1.	Définition.....	4
5.2.	Causes.....	5
5.3.	Interprétation	5
5.4.	Distorsion harmonique.....	5
5.4.1.	Définition - description	5
5.5.	Distorsion d'intermodulations.....	6
5.5.1.	Définition - description	6
5.5.2.	Méthode de mesure	6
5.6.	Distorsions de phase démonstration avec matlab	8
6.	Interprétation des phénomènes de distorsion	19
6.1.	Introduction.....	19
6.2.	Existe-t-il un critère de fidélité de transmission?.....	20
6.3.	Méthode de l'étude de la conservation du signal	20
6.4.	Influence des principaux paramètres sur l'allure du signal	21
6.4.1.	Courbe de réponse.....	21
6.4.2.	Combinaison de paramètres.....	23
7.	Quelques mesures concrètes	23
7.1.	Effet de la limitation de la bande passante sur un signal carré.....	23

7.2.	Transmission d'un clic	24
8.	Conclusion	25

1. INTRODUCTION

Ce chapitre a avant tout pour objet de décrire les différents types de distorsions tels qu'ils sont analysés dans les appareils de correction auditive, ainsi que les méthodes de mesure associées. Dans un deuxième temps, nous tenterons de bien distinguer la notion de distorsion (telle que le Petit Larousse la décrit, par exemple) de la notion de correction ou de traitement du signal, tels que nous devons les mettre en œuvre dans l'acte de correction de l'audition.

2. DÉFINITION

DÉFINITION DU PETIT LAROUSSE

Le Petit Larousse donne la définition suivante de la distorsion :

«Distorsion : Déformation parasite d'un signal»

DISTORSION ET TRAITEMENT DU SIGNAL

Cette définition évoque deux notions importantes. La première est la notion de **déformation**, à savoir la non identité des informations entre l'entrée et la sortie. La deuxième est la notion de **parasite**, qui sous-entend, a contrario, que certaines déformations peuvent être souhaitables. Cette idée est particulièrement juste dans le domaine de la correction de l'audition où, précisément, l'objectif des aides auditives est de modifier le signal de telle sorte qu'il puisse être analysé et interprété au mieux par le système auditif déficient, c'est-à-dire affecté de **distorsion perceptive**.

Nous mettons là en évidence une des difficultés de l'interprétation spontanée des déformations des signaux visibles ou audibles: elles peuvent être accidentelles ou voulues. Le Professeur Lafon affirmait que l'audition déficiente avait besoin de distorsions. C'était une façon peut-être un peu provocante de dire que des malentendants pouvaient tirer un bénéfice au plan de l'intelligibilité de la présence de composantes créées par le système. Ces composantes doivent bien entendu être contrôlées – c'est-à-dire qu'il peut être souhaitable dans certains cas d'établir un nouveau **code vocal** – capable de suppléer à l'incapacité de percevoir des informations dans certaines zones cochléaires. Sur cette idée, le Professeur Lafon avait développé un appareil à transposition qui, selon lui, permettait d'augmenter la quantité d'informations vocales et donc la compréhension dans certains types de surdités. Pour le bien entendre, cet appareil était cependant affecté de fortes distorsions D'autres expérimentations ont eu lieu dans ce domaine

Un phénomène analogue – l'exploitation des distorsions – se rencontre chez des malentendants à qui l'on veut renouveler un appareil médiocre par un système de meilleure qualité: la disparition des distorsions auxquelles ils étaient habitués nuit – au moins temporairement – à leur confort et à leur intelligibilité.

Cette distinction entre distorsion et traitement du signal est d'autant plus essentielle que les techniques de traitement sophistiqué du signal prennent leur essor. Citons en particulier:

- Les stratégies de traitement non linéaire du signal (compressions, etc)
- Le codage de l'information – transposition – etc., comme évoqué plus haut
- le traitement numérique du signal

Le convertisseur analogique / numérique est typiquement une déformation du signal. Elle permet d'en engendrer d'autres à volonté, par de simples opérations arithmétiques sur ce code.

Les exemples de la figure 1 illustrent la notion de déformation du signal.

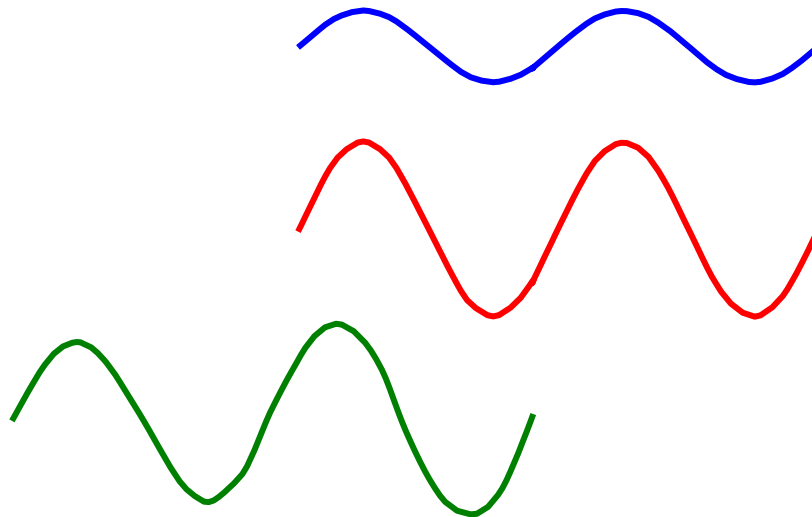


Figure 1 – Exemple de distorsions

- Signal d'entrée
- Signal amplifié pur
- Signal amplifié et déformé

3. LES DIFFERENTS TYPES DE DISTORSIONS

Les phénomènes de distorsion résultent:

- Des non-linéarités des transistors et plus généralement des amplificateurs
- De la saturation possible de certains étages amplificateurs
- Des interactions entre différents signaux

- Des phénomènes de résonance
- Des limitations – volontaires ou non des bandes passantes des appareils

agissent soit:

- sur la courbe de réponse: on parle alors de **distorsions de fréquence ou linéaires**
- sur la forme du signal, dans ce cas; il s'agit de **distorsions d'amplitude ou nonlinéaires**
- ou plus généralement sur les deux.

Nous verrons un peu plus loin que ces deux types de distorsions ne sont pas indépendants.

4. LES DISTORSIONS LINÉAIRES

DÉFINITION

Le facteur de transmission (le gain) pour un niveau d'entrée constant dépend de la fréquence du signal. C'est cette distorsion qui modèle la courbe de réponse de l'appareil auditif.

CAUSES

Les distorsions linéaires sont dues soit à des phénomènes accidentels, tels que les diverses résonances de l'écouteur et des tubes acoustiques, ou aux filtrages nécessaires pour adapter la courbe de réponse aux besoins prothétiques des malentendants (coupure des graves des aigus, ...). La figure 2 donne une représentation bien connue de ce type de phénomènes – que l'on n'appelle en fait rarement «distorsion».

Le phénomène de «Ballooning» de la figure 3 est un des rares cas où l'on parle de distorsion linéaire: Dans ce cas, une déformation de la courbe de réponse apparaît en fonction du niveau d'entrée. Nous en verrons les raisons ultérieurement (filtrages et compressions).

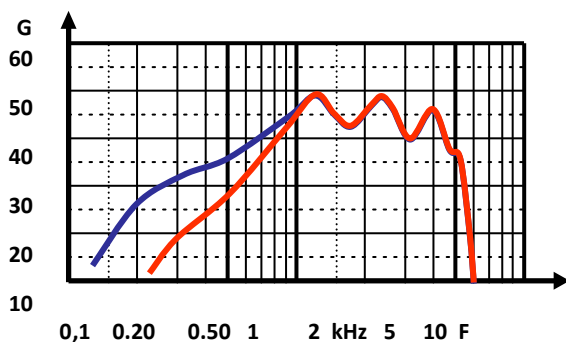


Figure 2 – Distorsion linéaire

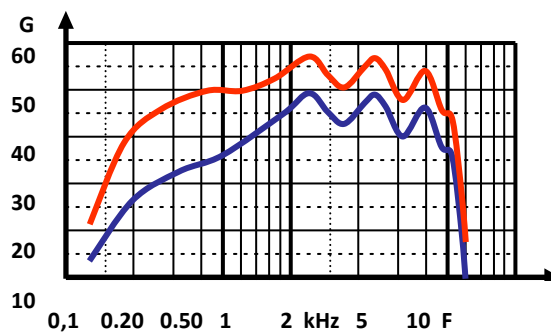


Figure 3 – Phénomène de « Ballooning »

INTERPRÉTATION

Ici, la distinction est évidente entre les altérations parasites (pointes de résonance) et les altérations volontaires (filtrage). Un système de reproduction électroacoustique serait en fait exempt de distorsions harmoniques si son gain était constant à toutes les fréquences ou, ce qui revient au même, si sa courbe de réponse était parfaitement horizontale de la fréquence nulle à la fréquence infinie. Nous analyserons ces aspects à la fin de ce chapitre.

5. LES DISTORSIONS D'AMPLITUDE OU DISTORSIONS NON LINEAIRES

DEFINITION

La distorsion d'amplitude d'un système amplificateur provoque la déformation du message transmis. La reproduction n'est pas fidèle.

Outre les désagréments liés à la perception d'une information de qualité médiocre, la distorsion harmonique contribue certainement à réduire l'intelligibilité du message – ceci sauf lorsqu'elle est volontairement produite à des fins de codage de l'information.

CAUSES

D'une façon générale, les distorsions d'amplitude existent à la sortie d'un système électroacoustique trop fortement sollicité. On y recueille des harmoniques qui se superposent au signal pur, c'est-à-dire des composantes « parasites » liées au signal émis.

INTERPRETATION

On peut se trouver dans deux situations possibles. Soit le système en lui-même est de médiocre qualité, et les distorsions apparaissent dans la plupart des conditions d'utilisation, soit, ce qui est le plus fréquent, le système est utilisé à la limite de ses possibilités, dans des zones de fonctionnement moins optimales. C'est aussi un facteur à prendre en compte dans la sélection de l'appareil pour un sujet donné: le choix du modèle d'appareil doit être tel qu'il fonctionne toujours de façon optimale dans des conditions d'utilisation normales.

DISTORSION HARMONIQUE

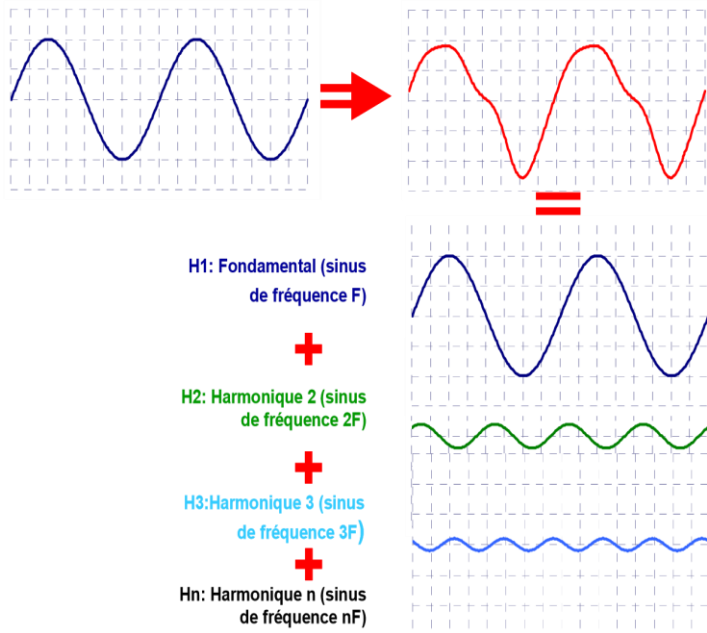
5.4.1. Définition - description

Dans certaines conditions d'utilisation, un signal d'analyse sinusoïdal pur émis devant le microphone d'un appareil est restitué déformé: il est affecté de distorsion harmonique. La distorsion harmonique qualifie la qualité de transmission à la fréquence de mesure.

L'analyse de ce défaut est une application de la théorie de Fourier (voir cours d'électrotechnique) qui démontre qu'un signal périodique non sinusoïdal de fréquence F peut être décomposé en la somme:

- d'un signal sinusoïdal pur de même fréquence (F): c'est le premier harmonique du signal, ou fondamental
- d'une infinité de signaux sinusoïdaux purs de fréquences $2F, 3F, \dots, nF, \dots$ ayant avec le fondamental certaines relations d'amplitude et de phase liées au signal analysé: Ce sont les harmoniques de rang 2, 3, ..., n , ... (figures 4 et 5)

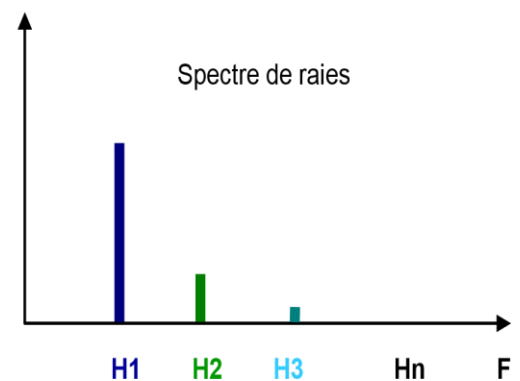
Figure 4 - Décomposition en série de fourier



Le fondamental est l'image du signal d'entrée. Les harmoniques de rang supérieur ou égal à deux sont des défauts créés par l'appareil.

La distorsion harmonique totale ou la distorsion harmonique d'ordre n est définie par le rapport de la pression acoustique de sortie correspondant,

Figure 5 - Spectre d'un signal périodique



soit à l'ensemble des produits de distorsion harmonique (distorsion harmonique totale), soit à la composante de fréquence nf (distorsion harmonique d'ordre n), à la pression acoustique de sortie totale.

Ces rapports peuvent s'exprimer en pourcentage ou en décibels. La distorsion harmonique totale est donnée par la formule:

$$\sqrt{\frac{p_2^2 + p_3^2 + p_4^2 + \dots + p_n^2 + \dots}{p_1^2 + p_2^2 + p_3^2 + p_4^2 + \dots + p_n^2 + \dots}}$$

et la distorsion harmonique d'ordre n par la formule:

$$\sqrt{\frac{p_n^2}{p_1^2 + p_2^2 + p_3^2 + p_4^2 + \dots + p_n^2 + \dots}}$$

dans laquelle p_1 est la pression acoustique (en Pa) correspondant à la fréquence fondamentale du signal produit dans le simulateur d'oreille (norme CEI), et $p_2, p_3, p_4, \dots, p_n$ sont les pressions acoustiques correspondant aux composantes harmoniques de deuxième, troisième, quatrième,

.... nième ordre, également exprimées en Pa.

5.5.1. Définition - description

La distorsion harmonique reste encore la plus utilisée pour représenter les distorsions non linéaires. Nous avons cependant vu qu'elle n'était plus mesurable au delà de la moitié de la bande passante, car les harmoniques du signal ne sont plus transmis par l'appareil. Cela ne veut pas dire pour autant que les non linéarités de l'appareil ne produisent plus de distorsions.

Celles-ci peuvent être analysées à partir d'un signal d'entrée composé d'au moins deux signaux de fréquences différentes.

Les produits de distorsion d'intermodulation, comme ceux qui sont mesurés, par exemple par la méthode de distorsion par différence de fréquence, sont plus sensibles à la non-linéarité que les produits de distorsion harmonique, dans le domaine des fréquences élevées.

5.5.2. Méthode de mesure

La distorsion par différence de fréquence est mesurée en appliquant à l'entrée un signal composé de deux signaux sinusoïdaux de même amplitude à 1,5 dB près, de fréquences f_1 et f_2 , f_2 étant supérieure à f_1 . Les niveaux des produits de distorsion du second ordre, de fréquence $f_2 - f_1$ et du troisième ordre de fréquence $2f_2 - f_1$ doivent être mesurés et exprimés en pourcentage ou en décibels, en prenant pour référence le niveau de sortie de la composante de fréquence f_2 . Les composantes d'ordre supérieur peuvent également être mesurées (figure 9).

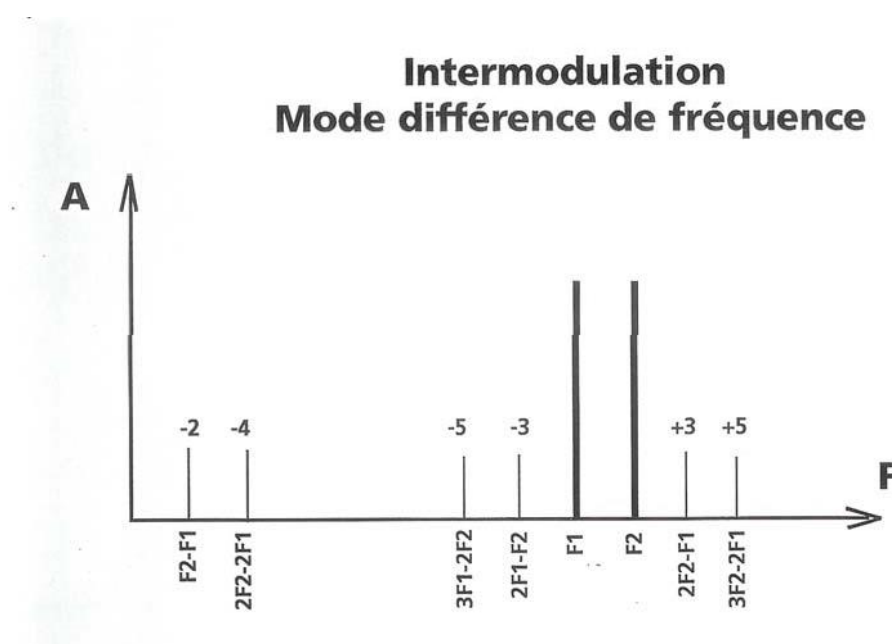


Figure 9 - Distorsion d'intermodulation par différence de fréquence

REMARQUES

- Une variante à cette méthode consiste à laisser une fréquence fixe et à faire varier l'autre. Dans ce cas, la différence entre les deux fréquences est variable (figure 10).

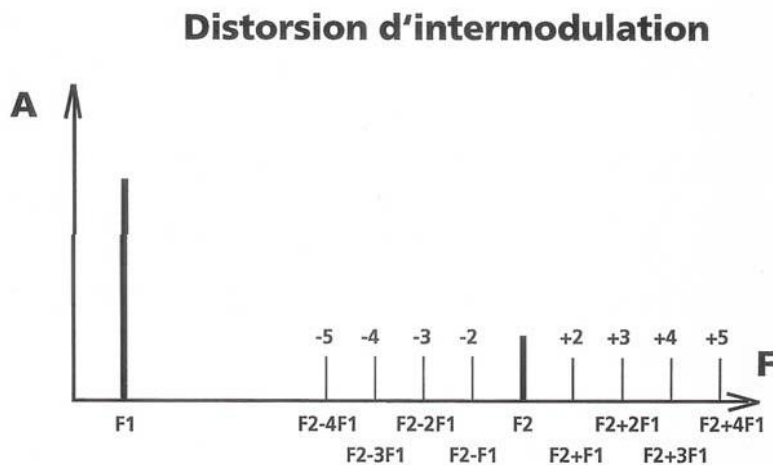


Figure 10 - Distorsion d'intermodulation

6. INTERPRETATION DES PHENOMENES DE DISTORSION

INTRODUCTION

Nous avons au début évoqué l'importance de différencier entre les déformations parasites - selon la définition du Petit Larousse - et les déformations volontaires. Nous allons illustrer ce propos par une analyse simple de l'influence des différents paramètres d'amplification d'une aide auditive sur la transmission d'un signal complexe.

La description du fonctionnement des appareils de correction auditive est presque exclusivement le résultat de l'analyse sinusoïdale pure : c'est l'étude en régime permanent (c'est-à-dire sans modification du signal au voisinage de l'instant de mesure) qui permet au système d'atteindre son régime d'équilibre.

Bien qu'essentiels, les résultats ainsi obtenus peuvent ne donner qu'une image incomplète du fonctionnement de l'appareil de correction auditive, dans la mesure où le régime entretenu ne représente qu'un cas particulier, voire exceptionnel, de ses conditions d'utilisation.

Il est aisé de concevoir, en effet, que les performances atteintes à une fréquence donnée puissent dépendre de la variation de l'intensité d'une seconde fréquence, présente simultanément et qui, par exemple, déclencherait ou non un dispositif de contrôle automatique de gain.

Dans le cadre d'une petite contribution à l'étude sur les potentiels évoqués prothétiques auditifs, nous avons déjà réalisé une série de mesures en utilisant des clics. Il s'agissait alors de définir les temps de propagation de ce signal dans l'appareil auditif.

Le clic est intéressant par le fait qu'il stimule une bande fréquentielle très large et c'est la raison de son choix en audiométrie objective, électrocochléographie ou P.E.A.

Electriquement, le clic est une impulsion très fine dont l'allure acoustique, après transmission dans un haut-parleur, est figurée en haut de la première vue (figure 11)

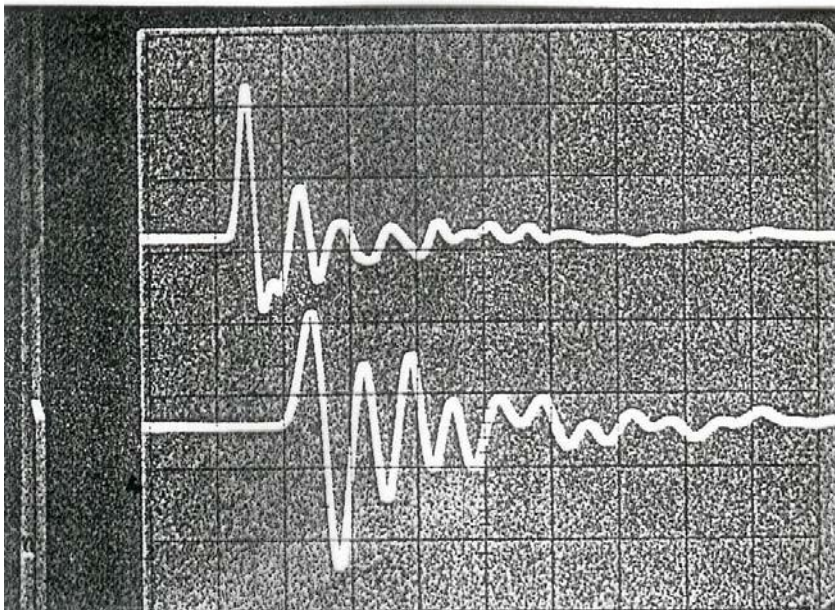


Figure 11 - Transmission d'un clic dans un appareil de correction auditive

C:\Documents and Settings\Goussard\Mon document\Course Audio 2005\Course word\AC 13 - Distorsions des OSE 03 2005\Isaues

11 / 17

Le signal du bas représente le même signal mesuré après son passage dans un contour d'oreille. Ce premier exemple met en évidence les déformations parfois très importantes que peuvent subir des signaux complexes transmis par des appareils de correction auditive. Ceci ne peut évidemment pas apparaître avec une stimulation sinusoïdale.

EXISTE-T-IL UN CRITERE DE FIDELITE DE TRANSMISSION?

En première approximation, on serait tenté de dire qu'un critère de fidélité de reproduction se- rait l'identité stricte entre la forme des signaux d'entrée et de sortie, au gain près. Ceci serait vrai si l'amplificateur était parfait, c'est-à-dire s'il avait :

- Une bande passante infinie
- Une courbe de réponse parfaitement plate et horizontale
- Un déphasage nul à toutes les fréquences

Or ce n'est pas ce que l'on cherche puisqu'il s'agit de corriger une perte auditive en adaptant l'amplification aux besoins de chaque déficience. Ceci peut avoir des conséquences sur l'allure du signal.

Nous allons donc examiner – sur le plan théorique – l’influence des paramètres suivants, tous résultant de l’analyse fréquentielle, sur la qualité de transmission d’un signal rectangulaire :

- Bande passante
- Courbe de réponse en amplitude
- Courbe de réponse en phase
- Distorsion harmonique

Il faut souligner dès maintenant que tous les phénomènes particuliers qui résultent de la présence simultanée dans l’amplificateur de deux ou plusieurs fréquences, tels que les distorsions d’intermodulation, ou l’action des C.A.G. n’ont pas été pris en considération dans cette étude.

METHODE DE L’ETUDE DE LA CONSERVATION DU SIGNAL

La méthode utilisée ici consiste à décomposer le signal en séries de Fourier, à modifier fréquence par fréquence ses spectres en amplitude et en phase en fonction de la réponse du système, puis à recomposer par le calcul les nouveaux spectres obtenus, afin d’obtenir l’allure du signal théorique de sortie. Le signal rectangulaire choisi facilite beaucoup l’analyse théorique graphique de la transmission. En effet :

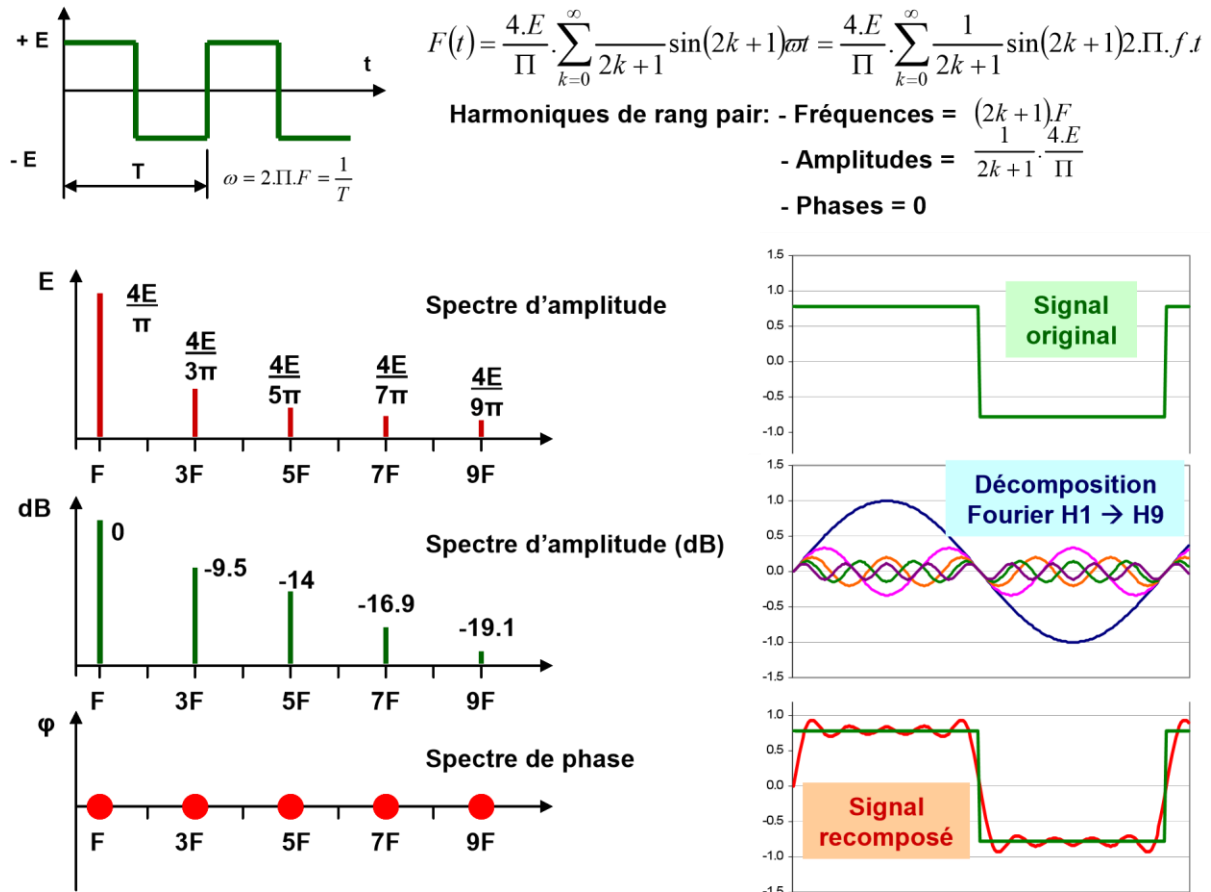
- C’est un signal périodique dont le spectre de Fourier est composé de raies discrètes parfaitement définies mathématiquement par :

$$X(T) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{4A(-1)^k}{(2k+1)\pi} \cos[(2k+1).\omega t]$$

- Seules les harmoniques impairs sont présents dans la décomposition, ce qui permet avec une même bande passante de reconstituer le signal à partir d’un nombre d’éléments plus faible
- Il n’y a pas de déphasage à l’origine des temps
- La forme rectangulaire est rapidement évoquée, même avec un nombre limité d’harmoniques

La figure 12 illustre ces observations. Elle expose l’analyse, sous diverses formes, et la synthèse à partir de ses premières composantes, du signal rectangulaire. Elle explique en outre comment, par suppression des harmoniques de rang supérieur, la réduction de la bande passante peut apporter une première déformation du rectangle et en particulier augmenter les temps de montée et de descente. Pour la suite, nous avons choisi d’examiner un signal rectangulaire de 500 Hz, transmis par un appareil de correction auditive dont la fréquence de coupure haute est de 5 000 Hz. Ceci limite à 5 les harmoniques du signal : H1 à 500Hz (fondamental), H3 à 1500 Hz, H5 à 2500 Hz, H7 à 3500 Hz et H9 à 4 500 Hz.

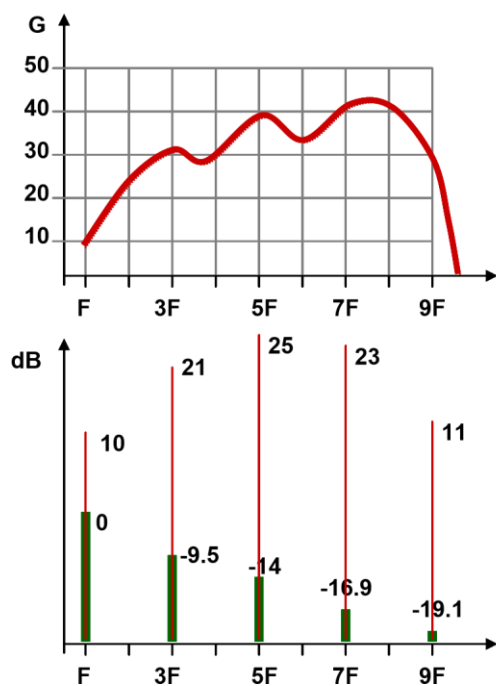
Figure 12 - Décomposition en série de Fourier d'un signal rectangulaire



INFLUENCE DES PRINCIPAUX PARAMETRES SUR L'ALLURE DU SIGNAL

6.4.1 Courbe de réponse

Examinons en détail l'influence d'une courbe de réponse traditionnelle (représentée ici avec une échelle de fréquences linéaire). Elle procure une amplification plus importante sur les harmoniques H3, H5, H7 et H9 que sur le fondamental H1, tous les autres paramètres de l'amplification étant supposés identiques à ceux de l'amplificateur idéal.



Fréquence du signal $F = 500$ Hz

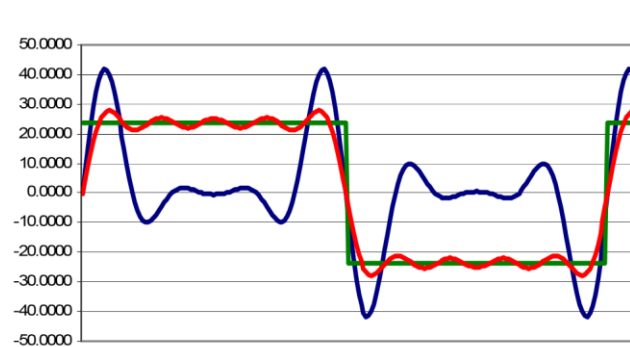


Figure 13 - Transmission; gain variable en fonction de la fréquence

Les spectres d'amplitude d'entrée et de sortie sont indiqués sur la figure 13 et leurs reconstitutions sont repérées :

- En rouge pour tous les harmoniques qui, dans la bande passante, subissent la même amplification moyenne de 30 dB. Les harmoniques de rangs supérieurs sont supprimés
- En bleu quand l'amplification spécifique à chaque fréquence est appliquée à chaque harmonique.

La déformation du signal est très importante mais les remarques suivantes s'imposent :

1. Elle résulte uniquement d'une caractéristique d'amplification nécessaire à une certaine forme de perte auditive.
2. La perte auditive dont cette courbe est le complément peut rétablir dans une certaine mesure le rapport normal entre les harmoniques.

6.4.2 Combinaison de paramètres

a figure 14 résume les effets potentiels des différents paramètres d'amplification sur l'allure du signal rectangulaire. L'analyse est faite sur le même principe que précédemment, et nous n'entrerons pas dans les détails. Elle confirme l'influence des différents paramètres de la correction prothétiques sur l'allure du signal

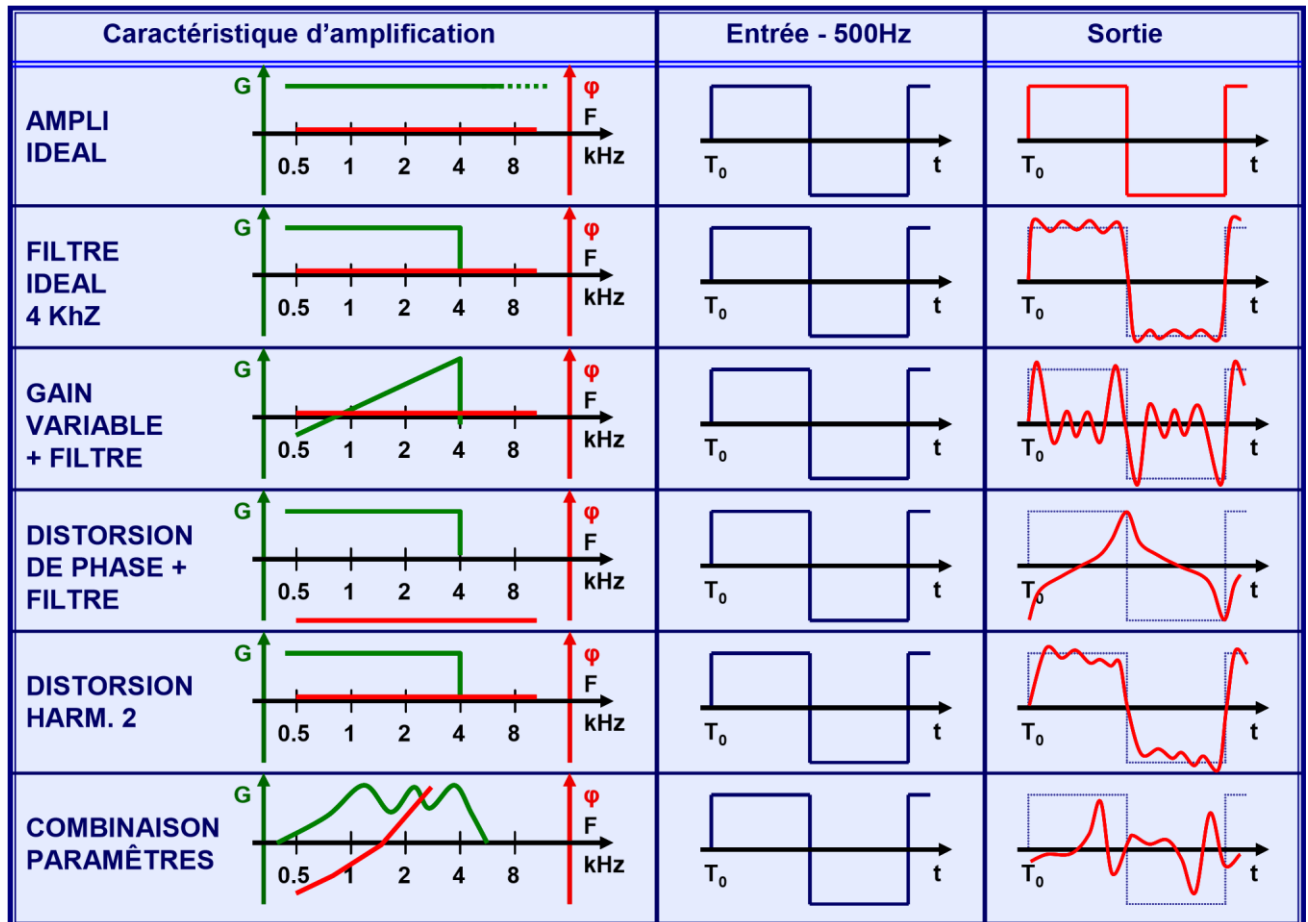


Figure 14 - Influence de multiples paramètres sur l'allure d'un signal rectangulaire

7. QUELQUES MESURES CONCRÈTES

EFFET DE LA LIMITATION DE LA BANDE PASSANTE SUR UN SIGNAL CARRE

Les oscillogrammes suivants illustrent certaines des déformations citées précédemment. L'appareil utilisé est un contour d'oreille classique amputé de son microphone, remplacé par un générateur de signaux carrés. Il n'est en effet pas possible d'obtenir, à travers un haut-parleur, un carré de bonne qualité.

L'oscillogramme de la figure 15 montre la transmission d'un carré de 2500 Hz. Seul le premier harmonique est transmis et le signal mesuré en sortie est une sinusoïde quasi parfaite.

La fréquence de mesure de la figure 16 est maintenant de 900 Hz et seul le fondamental (900 Hz) et l'harmonique 3 (2700 Hz) sont transmis, les autres harmoniques étant en dehors de la bande passante, limitée à 4000 Hz dans les aigus.

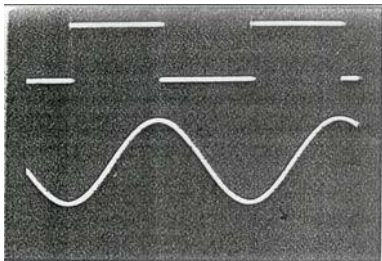


Figure 15 - Transmission dans un ACA d'un carré de fréquence 2500 Hz

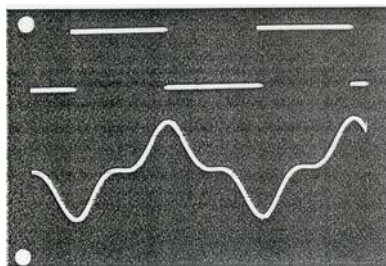


Figure 16 - Transmission dans un ACA d'un carré de fréquence 900 Hz

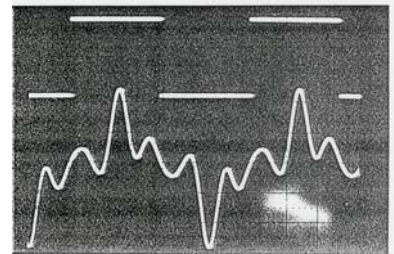


Figure 17 - Transmission dans un ACA d'un carré de fréquence 500 Hz

Pour un signal de 500 Hz (figure 17), nous observons des déformations qui ne sont pas sans rappeler certains des résultats théoriques que nous avons déjà vus.

TRANSMISSION D'UN CLIC

Sur cet exemple de transmission de clic, les seules conclusions que l'on puisse tirer sont les suivantes (figure 18) :

- La bande est insuffisante pour transmettre des temps de montée aussi rapides que ceux du clic.
- Il apparaît un traînage qui peut être simplement celui du haut-parleur amplifié par l'aide auditive ; quant à la forme même du signal de sortie, il paraît difficile d'en tirer la moindre information relative à la qualité de la transmission.

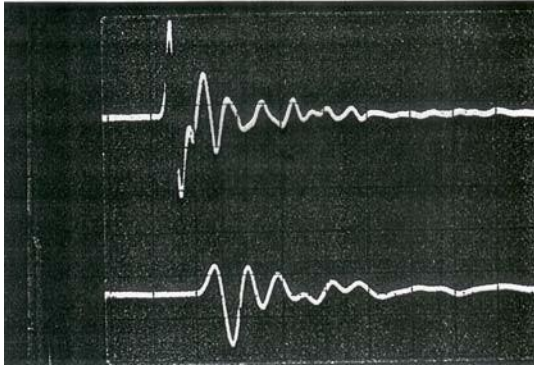


Figure 18 - Transmission d'un clic de 80 dB (ACA de 30 dB de gain à 1kHz)

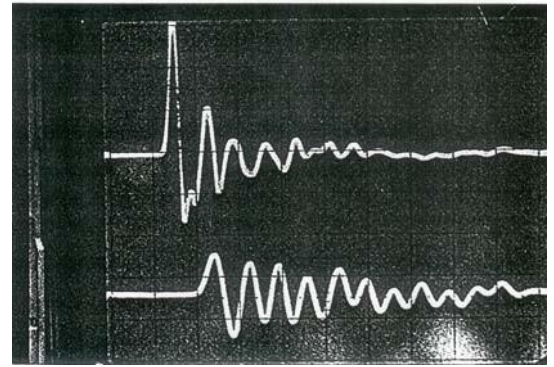


Figure 19 - Transmission d'un clic de 100 dB (ACA de 30 dB de gain à 1kHz)

La figure 19 montre le même appareil, excité par le même signal, mais à un niveau plus élevé. La seule information nouvelle est une égalisation des amplitudes qui met en évidence l'effet de saturation de l'appareil.

Ce qui paraît important, c'est que le couple appareil / oreille permette de reconstituer correctement les spectres des signaux émis, ce qui ne peut évidemment pas être mesuré «à l'oscillo», mais évalué par des tests vocaux.

Ceci suppose :

- Que l'information ne soit pas tronquée (réduction de la bande passante, par exemple)
- Que des informations parasites ne soient pas ajoutées (distorsions).

8. CONCLUSION

En conclusion, L'analyse des distorsions est un élément important de l'appréciation qualitative de l'appareil. Elles doivent cependant être interprétées dans le contexte de la correction de l'audition, qui suppose que le signal soit traité – donc modifié, distordu – pour répondre aux besoins spécifiques de l'utilisateur. Ceci apparaît clairement sur l'étude théorique de la transmission d'un signal carré qui permet de faire les observations et d'apporter les conclusions suivantes (figure 14) :

- Il apparaît un lien entre l'analyse en sons purs et l'analyse en sons complexes.
- La «responsabilité» de chaque paramètre de l'amplificateur n'est pas apparentée dans le résultat global de l'amplification.
- Les causes de déformation peuvent être classées en trois catégories :
 - a) Les imperfections de l'appareil (réduction de la bande passante, distorsion...)
 - b) Les imperfections de l'appareil sans modification du spectre d'amplitude, qui n'auraient pas d'influence sur la reconnaissance du signal.
 - c) Les imperfections indispensables à la restauration de l'audition du sujet (courbes de gain, courbes de phase éventuellement).

Si l'analyse fréquentielle peut, à juste titre, être considérée comme insuffisante pour l'étude des appareils de correction auditive, l'observation temporelle de signaux complexes risque de conduire à des interprétations erronées en raison même du fait que l'amplification ne doit pas être idéale dans notre application.