

École Nationale Supérieure LOUIS LUMIERE

Filière SON 2005

Mémoire de fin d'études

Céline Guerbert

La transmission HF appliquée à la
prise de son cinéma

Directeurs

Francis Wagnier

Philippe Chenevez

Rapporteur

Philippe Simonet

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier :

- Mes directeurs de mémoire Francis Wagnier et Philippe Chenevez qui m'ont orientée tout au long de ce travail et qui m'ont apporté leur soutien et leurs aides précieuses.

- Ronald Magaut qui a bien voulu servir de narrateur pour mes mesures et de cobaye pour mes tests, qui m'a soutenu tout au long de la rédaction, et qui m'a aidée à garder confiance en moi et en mon travail.

- La société Tapages représentée par Olivier Binet et Gabriel Fitzner pour m'avoir prêté le matériel dont j'avais besoin, et plus particulièrement William Lamonica, Franck Trapletti et Franck Hervouet pour leur accueil, leur disponibilité et leurs conseils.

- La société Areitec représentée par Michel Pierre, Micheline Martin et Gilles Deshays pour m'avoir prêté du matériel et pour leur disponibilité et leurs aides.

- Philippe Simonet pour son aide et ses conseils avisés, et Mohammed Elliq pour son aide précieuse, sa disponibilité et sa gentillesse.

- Nicole Demars pour son soutien, son sourire et sa gentillesse

- Enfin, tous les auditeurs qui ont bien voulu me donner de leur temps, déjà bien rempli, pour participer à mes tests, et en particulier Antoine Valette pour avoir accepté de me servir de porteur.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	6
A- PARTIE THEORIQUE	8
I - DESCRIPTION-ANALYSE DES SYSTEMES HF	9
1. HISTORIQUE	9
2. FONCTIONNEMENT DES EMETTEURS-RECEPTEURS HF	9
2.1. Les ondes électromagnétiques-Rappel.	9
2.2. L'émission.....	10
2.3. La réception.....	12
2.4. La modulation de fréquence	12
2.5. La modulation QAM (système numérique).....	13
2.6. Le bruit de fond.....	14
2.7. Les antennes	16
2.8. La portée.....	17
2.9. La True Diversity	18
2.10. Le squelch.....	19
3. CHOIX DES FREQUENCES	20
3.1. Les bandes VHF / UHF	22
3.2. La législation.....	23
3.3. Les possibilités de fréquences disponibles pour la prise de son.....	25
3.4. La coexistence de micros sans fil.....	27
3.5. L'intermodulation	28
II - APPLICATION DE LA TRANSMISSION HF A LA PRISE DE SON CINEMA.....	29
1. PHENOMENES LIES A LA TRANSMISSION HF	29
2. UTILISATION DES MICROS CRAVATES	30
2.1. Micro à électrets – Rappel	30
2.2. La miniaturisation des micros à électrets	31
2.3. Prise de son de la voix aux micros-cravates	32
2.4. Perche HF	35
B- PARTIE PRATIQUE	37
INTRODUCTION	38
I - SYSTEMES SOUMIS AUX ANALYSES- DESCRIPTION.....	39
1. AUDIO LIMITED.....	39
1.1. Présentation de la société.....	39
1.2. Le système RMS 2000 – Description	39
1.3. Description	39

2.	SENNHEISER.....	41
2.1.	<i>La gamme HF</i>	41
2.2.	<i>Descriptions techniques</i>	41
3.	ZAXCOM.....	42
3.1.	<i>Présentation de la société</i>	42
3.2.	<i>Les avantages d'un système H.F. numérique</i>	43
4.	LES MICROS	46
II - ETUDE DES PARAMETRES LIES A LA TRANSMISSION HF COMPORTEMENTS DES TROIS SYSTEMES		47
1.	COURBES DE REPONSES	47
2.	LA PHASE	49
3.	REPONSE A UN SIGNAL SINUSOÏDAL (1000 Hz) - DISTORSION	50
4.	LE RAPPORT SIGNAL SUR BRUIT	54
5.	PORTEE	55
6.	CARACTERISTIQUES DU BOITIER (TAILLE POIDS ANTENNE)	55
7.	COMPORTEMENT DES LIMITEURS	56
8.	QUALITE DES TRANSITOIRES	58
9.	MISE EN CASCADE DE PLUSIEURS ETAGES HF	61
10.	COMPARAISON TRANSMISSION FILAIRE / HF PAR UN KM 150.....	62
III - MICROS-CRAVATES-ANALYSES.....		63
1.	POSITIONNEMENTS ZONE DE TIMBRAGE / POITRINE	63
2.	POSITIONNEMENTS POITRINE / CHEVEUX.....	63
3.	POSITIONNEMENTS SOUS/SUR VETEMENTS	65
4.	DIFFERENTES POSITIONS SUR LA POITRINE	66
C- PARTIE EXPERIMENTALE		68
I- PRESENTATION DU TEST.....		69
1.	DEMARCHE.....	69
2.	DESCRIPTION.....	71
II - ANALYSE COMPARATIVE DES TROIS SYSTEMES		72
1.	ÉTUDE DE LA TRANSMISSION UNIQUEMENT.....	72
2.	QUALITE DES SIFFLANTES DANS LA ZONE D'ACTION DU LIMITEUR	74
3.	TRANSMISSION ASSOCIEE A UN MICRO-CRAVATE SANKEN.....	75
4.	COMPARAISON MICRO-CRAVATE SOUS ET SUR VETEMENTS	78
CONCLUSION GENERALE		84
BIBLIOGRAPHIE INDICATIVE		86
ANNEXES		87

INTRODUCTION

La technique de la transmission haute fréquence (HF) pour la prise de son est arrivée sur les plateaux de tournage il y a une vingtaine d'années. Cette technologie est arrivée à la fois comme une réponse à une attente des ingénieurs du son mais aussi comme un nouveau système s'ajoutant à ceux déjà existants, dans une logique de progression technologique habituelle. Ce sont les aspects pratiques qui ont séduit les ingénieurs du son assez rapidement. Tout d'abord, les systèmes HF évitent l'encombrement du câble et les inconvénients liés à ce dernier comme les parasitages avec les câbles électriques, et permettent avant tout d'effectuer des prises de son dans le cas de plans difficiles. Cet avantage est donc appréciable aussi bien sur les plateaux de tournage que sur les scènes de concerts et de spectacles. Puis, une des raisons qui a réellement imposé ces systèmes sur les plateaux de cinéma est l'utilisation des micros-cravates sur les comédiens. Les systèmes HF se sont donc imposés facilement dans le domaine de la prise de son cinéma.

Bien que les utilisant maintenant depuis plusieurs années, les ingénieurs du son n'ont un avis que subjectif sur la qualité d'un signal audio transmis en HF comparée à celle d'un signal transmis traditionnellement par voie filaire. En effet, l'utilisation de la technologie HF pour les micros-cravates n'est pas remise en doute car ces micros ne sont utilisés qu'en appoint (dû aux propriétés du micro et à leurs positionnements), et après corrections le plus souvent, en complément de la perche. Par contre, concernant l'utilisation d'une perche en HF, les pratiques comme les avis divergent.

En effet, cette utilisation a été rendue peu à peu possible par les fabricants des systèmes qui ont amélioré leurs produits jusqu'à ne plus avoir de problèmes de décrochages, chose qui serait ingérable pour une perche principale. Il est vrai que connaissant la portée des HF actuellement, les ingénieurs du son peuvent tout à fait faire confiance à une perche HF en termes de portée. Cependant, ce n'est pas les cas pour tous. Certains travaillent en perche filaire, estimant que le son est plus « plein, rond », ou encore plus « naturel », d'autres préfèrent utiliser des perches HF pour des raisons pratiques, estimant à leur tour que la différence de

qualité entre transmission HF et filaire est négligeable et que la mobilité du perchman est un facteur de qualité.

Nous allons étudier et analyser les caractéristiques des systèmes HF pour des signaux de type cinéma en les comparant à un système filaire, puis nous tenterons de mettre en corrélation directe ces analyses avec le caractère audible des paramètres mis en évidence. La problématique de ce mémoire réside essentiellement dans cette question. Aussi, nous étudierons ces différences du point de vue technique dans notre partie pratique et du point de vue perceptif dans la partie expérimentale.

Notre partie théorique consistera dans un premier temps à étudier les techniques et les conditions d'utilisation des systèmes HF. Nous verrons que le choix des fréquences utilisées doit se faire en fonction de l'encombrement du spectre et d'après la réglementation en vigueur. Dans un deuxième temps, nous étudierons les possibilités et les caractéristiques de la prise de son aux micros-cravates, appoints à présent très utilisés sur les plateaux de tournage.

Notre partie pratique sera constituée de l'analyse des enregistrements effectués par transmission HF afin de déterminer les altérations que subit le signal audio. Pour cela nous avons travaillé avec trois appareils de marques différentes, deux étant les systèmes HF analogiques présents aujourd'hui sur les plateaux de tournage (Audio Limited et Sennheiser), et le dernier étant un système HF numérique, relativement récent mais encore très peu utilisé et peu connu. Après des séries de mesures à l'aide de signaux de laboratoire pour tester les systèmes dans des conditions limites, notre étude se limitera très précisément aux types de signaux représentatifs d'une prise de son cinéma, c'est-à-dire plus particulièrement à la voix.

Enfin, dans notre partie expérimentale, notre objectif sera de déterminer si ces altérations sont d'une part, audibles pour une application de type prise de son cinéma, et d'autre part, si elles peuvent être considérées comme négligeables.

A-Partie Théorique

I - Description-Analyse des systèmes HF

1. Historique

La technologie des microphones à électrets a permis la miniaturisation des micros et le développement des micros-cravates. Ces derniers ont tout de suite nécessité une transmission HF pour des raisons pratiques évidentes. C'est dans le cadre d'une émission télévisée *La caméra invisible*, avec Pierre Bellemare, que sont apparus les premiers micros émetteurs HF en 1964. Il a fallu attendre 1970 pour voir les premiers micros HF sur un long-métrage. Il s'agissait du film *Mash* de Robert Altman. Ces systèmes ont été mis au point par l'ingénieur du son de ce tournage, Jim Webb.

Rapidement ces systèmes se sont généralisés sur les tournages. Aujourd'hui, il n'y a presque plus de tournages sur lesquels les ingénieurs du son n'utilisent pas de systèmes HF que ce soit des productions télévisuelles, des documentaires ou des long-métrages. L'écoute des spectateurs aujourd'hui est habituée à une prise de son de proximité au micro-cravate pour la voix, car il s'avère que c'est une technique définitivement ancrée pour la prise de son des émissions télévisuelles. Malgré cela, les ingénieurs du son direct ne sont pas tous complètement adeptes de cette technique complémentaire de prise de son et de son influence sur la mise en scène. En effet, la généralisation de l'utilisation des micros-cravates sur les plateaux de tournage a peut-être habitué les metteurs en scène à une certaine facilité et de ce fait, les problèmes que peut rencontrer le son sur certains plans peuvent ne pas leur sembler évidents, pensant que l'usage des micros-cravates est une réponse à tous les problèmes.

2. Fonctionnement des émetteurs-récepteurs HF

2.1. Les ondes électromagnétiques-Rappel.

Les systèmes HF transmettent les signaux grâce aux ondes électromagnétiques, qui vont à la vitesse de la lumière. Le champ

électromagnétique correspond à un phénomène physique dont nous ne ressentons pas les effets dans notre vie quotidienne alors que nous y sommes soumis plus ou moins intensément suivant l'endroit où nous nous trouvons. Il se caractérise par une répartition de champs électriques et magnétiques en perpétuelle variation et distribués sur tout le spectre des fréquences radioélectriques allant des grandes ondes aux hyperfréquences à la limite de la lumière. Rappelons que les phénomènes de propagation acoustique et radioélectrique sont très similaires (hormis la notion de polarisation), d'autant que les ordres de grandeur des longueurs d'onde en VHF-UHF sont très comparables à celles des ondes sonores, seules les valeurs des fréquences sont très différentes. Les difficultés de transmission ont donc des ressemblances pour les phénomènes tels que les effets de masques, la diffraction, la réflexion...

2.2. L'émission

L'émetteur a la fonction de conditionner les tensions BF venant du micro, de moduler des hautes fréquences et d'émettre, grâce à son antenne, des ondes électromagnétiques.

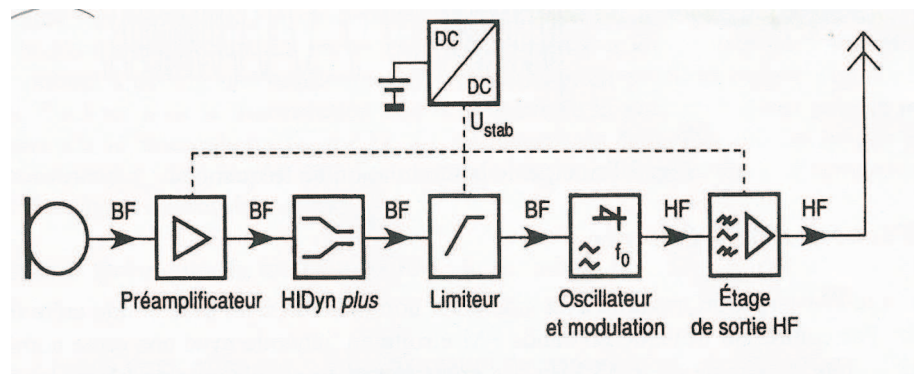


Figure I-1 – Schéma synoptique d'un émetteur Sennheiser

Sur l'exemple de la figure I-1, la tension BF venant du micro est amplifiée par le premier étage (préamplificateur). Le gain peut être réglé de l'extérieur par un bouton situé sur l'émetteur. L'étage suivant est le compresseur (HIDyn plus) qui réduit la dynamique du signal dans son évolution temporelle. Le limiteur fixe un seuil directement lié à l'excursion maximale de la modulation HF. L'étage suivant module la porteuse en fréquence et produit le signal hautes fréquences transmis

par l'étage de sortie. Les émetteurs aujourd'hui fonctionnent suivant le principe de synthèse de fréquences. Un synthétiseur de fréquences est un générateur de signaux, susceptible de produire n'importe quelle fréquence appartenant à un ensemble discret de fréquences dont la stabilité en fréquence est celle d'un oscillateur étalon (oscillateur à quartz basse fréquence : 6,4MHz dans le cas de l'émetteur l'Audio Limited). Dans le cas des émetteurs HF, les synthétiseurs de fréquences utilisent des boucles à verrouillage de phase et un VCO (oscillateur commandé en tension) qui a la possibilité d'osciller à haute fréquence (signal HF) sur une bande passante « élargie ». Dans les systèmes traditionnels, une fréquence de transmission est égale à un quartz spécifique de fréquence élevée. Dans les systèmes à synthèse de fréquences, un quartz non spécifique et de fréquence limitée permet la création de plusieurs fréquences de transmission de diviseurs au sein de la boucle d'asservissement. Pour les systèmes traditionnels (en voie de disparition), l'appareil a 1 ou 2 fréquences et une bande passante de 1 ou 2 MHz ; pour les systèmes à synthèse plus actuels, le nombre de fréquence par appareil est de 16, 32 ou plus et la bande passante est de 8 à 24MHz (voire 32). L'inconvénient de la synthèse de fréquence est l'augmentation du bruit de fond du VCO relativement à la bande passante exigée. Les utilisateurs réclament de plus en plus de bande passante, mais ce choix est toujours en défaveur du bruit de fond de transmission (pour les systèmes analogiques).

En émission, le rayonnement de l'antenne équivaut à une répartition de la puissance du signal HF dans toutes les directions sous forme de champ électromagnétique autour du lieu où elle se situe. Il y a une correspondance physique réelle entre la puissance d'un signal HF et le champ électromagnétique qu'il génère en un lieu défini, à travers les performances des antennes utilisées tant à l'émission qu'à la réception.

La puissance d'un émetteur se chiffre en milli Watt. Elle est exprimée par le constructeur pour une impédance de 50 ohms, mais ce qui compte vraiment c'est la PAR (puissance apparente rayonnée) qui prend en compte l'impédance réelle de l'antenne. Pour un appareil courant, la puissance électrique est de l'ordre de 20 à 100 mW selon les modèles. La PAR est plutôt de l'ordre de 10-50 mW. De plus cette puissance est souvent affaiblie par la proximité du corps humain (15 ou 30 dB dans les pires cas).

2.3. La réception

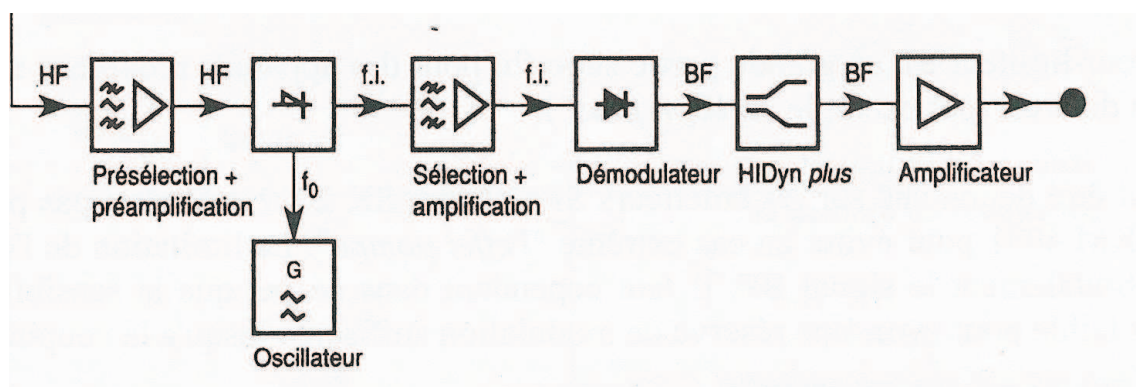


Figure I-2 – Schéma synoptique d'un récepteur Sennheiser

En réception, la puissance utilisable d'un signal HF en un lieu donné est le résultat de la conversion d'un champ électromagnétique par une antenne et dépend des caractéristiques de celle-ci (bande passante, gain et directivité...). Les signaux reçus par l'antenne sont préamplifiés avant d'être mélangés à la fréquence fournie par un oscillateur (f_0 fréquence de la porteuse). La fréquence de réception est ainsi transformée en une fréquence intermédiaire (f_i) de 10,7 MHz avant de passer dans un démodulateur qui extrait le signal audiofréquence. Celui-ci, dans le cas des modèles Sennheiser, est traité par un circuit d'expansion puis amplifié pour être exploitable en niveau ligne. Ces multiples étages de transformation de fréquences font du récepteur un récepteur hétérodyne qui permet une meilleure sélectivité en affinant progressivement la réception.

En réception HF, la sensibilité correspond à la valeur minimale du signal à l'antenne nécessaire pour obtenir une bonne réception d'un émetteur, c'est-à-dire avec un faible niveau de bruit de fond. Elle s'exprime souvent en dBm pour une certaine valeur de SINAD (Signal/Noise And Distorsion).

2.4. La modulation de fréquence

La transmission HF, dans le cas de l'analogique, se fait par modulation de fréquence –modulation où l'amplitude de l'onde porteuse demeure constante, tandis que sa fréquence varie suivant les caractéristiques de l'onde modulante. Sur le plan spectral, le son résultant de la modulation de fréquence est constitué de la fréquence porteuse et de bandes latérales dont les fréquences sont égales à

f porteuse $\pm f$ modulante, f porteuse $\pm 2f$ modulante, f porteuse $\pm 3f$ modulante, etc. Le nombre de ces bandes latérales dépend de l'amplitude de la modulante. Plus celle-ci sera élevée, plus le nombre de bandes latérales sera élevé. L'avantage de cette modulation réside dans le fait qu'elle est moins sensible aux bruits parasites qui perturbent plus généralement l'amplitude des ondes électromagnétiques. De plus elle permet la transmission d'une meilleure bande passante qu'en modulation d'amplitude et d'un très bon rapport signal à bruit. Enfin, la puissance d'émission de la modulation de fréquence est constante.

On distingue deux techniques de modulation FM : la technique dite de large bande et la technique à bande étroite. La technique à bande large offre une meilleure qualité audio : bande passante et dynamique plus importantes. Cependant, peu de canaux peuvent être exploités l'un à côté de l'autre dans des gammes de fréquences autorisées car la distance entre deux canaux voisins doit être d'au moins 300kHz. Les systèmes HF pour le cinéma présentent une transmission en bande large. En effet pour la technique en bande étroite, l'écart entre les canaux n'est plus que de 40 kHz. Dans une plage de fréquences donnée, on peut donc prévoir un plus grand nombre de canaux, mais avec une bande passante légèrement réduite 20 à 12000 Hz.

2.5. La modulation QAM (système numérique)

La modulation pour transmettre les signaux numériques est appelée modulation QAM (Quadrature Amplitude Modulation). Elle est composée de deux modulations d'amplitude à porteuse supprimée en quadrature de phase. C'est une technique qui emploie une combinaison de modulation de phase et d'amplitude. Les deux porteuses en quadrature sont deux porteuses de même fréquence, déphasées de 90° . Lorsque l'on additionne deux porteuses de fréquence f_0 en quadrature, on obtient une seule porteuse, toujours de fréquence f_0 . L'avantage de cette méthode est que la porteuse résultante n'a pas changé de fréquence, mais comme les deux "sous-porteuses" en quadrature vont être modulées indépendamment l'une de l'autre, deux fois plus d'informations peuvent être transportées. Les combinaisons possibles en modulations QAM sont souvent représentées par une constellation de points représentant chacun un groupe de

bits. L'éloignement du point par rapport à l'origine indique l'amplitude, son angle indique le décalage de phase.

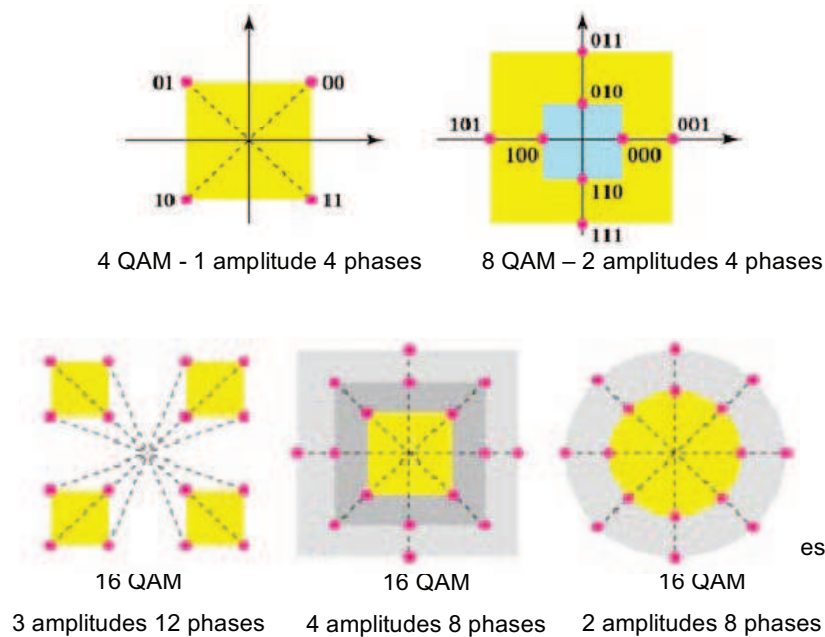


Figure I-3 – Exemples de constellations

Cette constellation, et en conséquence le nombre de bits pouvant être transmis en une fois, peut être augmentée pour un meilleur débit binaire, ou diminuée pour améliorer la fiabilité de la transmission en générant moins d'erreur binaire. Le nombre de points de la constellation est indiquée avant le nom QAM.

2.6. Le bruit de fond

La transmission des hautes fréquences ajoute au signal transmis un bruit de fond. Ce bruit de fond est directement lié au VCO (oscillateur commandé en tension) du circuit électronique. En plus d'ajouter son bruit propre, comme tous circuits électroniques, le VCO ramène du bruit car il fait partie d'une boucle d'asservissement (du synthétiseur de fréquences). La dynamique de transmission est déterminée par le bruit de fond du VCO et par l'excursion maximale en fréquence. D'après les constructeurs, cette dynamique est de l'ordre de 50 dB, ce qui justifie l'usage d'un système de compression-expansion qui tente de doubler artificiellement la dynamique apparente.

a) Les companders

Pour pallier ce bruit de fond, les fabricants (des systèmes HF analogiques) ont mis au point des systèmes de réduction de bruit, les companders (compresseurs-expandeurs). Les signaux transmis sont compressés (en dynamique) au niveau de l'émetteur et décompressés en arrivant dans le récepteur. Ces companders sont exclusifs à chaque fabricant, mais leur mise au point est basée sur l'utilisation des circuits intégrés universels de la famille des NE570-572. En remontant le niveau des signaux faibles, ces companders améliorent le rapport signal à bruit et la dynamique. Sans ces procédés, à cause du bruit qui s'ajoute à la basse fréquence au moment de la démodulation, un souffle permanent serait présent en fond sonore.

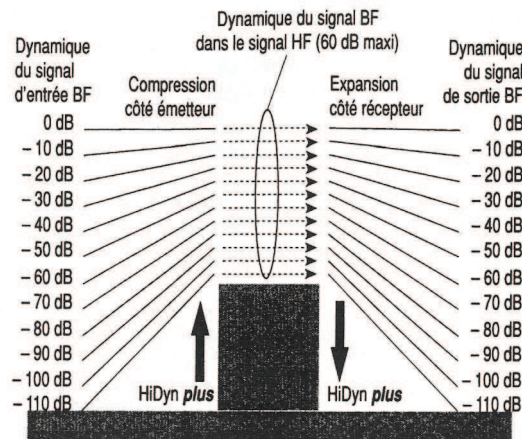


Figure I-3 – Comportement du compander Sennheiser

Dans l'émetteur, le compresseur ramène la dynamique du signal BF à 50-60dB juste avant l'étage HF, ce qui est parfaitement adapté aux possibilités des systèmes HF (cf. rapport signal à bruit p54). La limite inférieure de cette dynamique correspond au bruit de fond, et la limite supérieure correspond à l'excursion maximale. Cette compression-expansion ne peut se faire que par le jeu de constantes de temps d'attaque et de récupération.

Dans le cas de système numérique, cette méthode de compression n'est pas nécessaire pour la transmission. Néanmoins, à titre de comparaison, la transmission d'un signal numérique 96kHz 24bits, ni compressé, ni particulièrement codé nécessite une bande passante théorique de l'ordre du mégahertz. Or, l'excursion imposée étant de 100kHz maximum, on peut se demander quel est le procédé utilisé pour permettre cette transmission, sans perte

de qualité. Une première réponse est le type de codage utilisé (QAM) qui permet la transmission d'une grande quantité d'informations. On pourrait se demander si cette réponse est la seule et si une compression de données n'est pas ajoutée à ce codage. Nous n'avons pas réussi à obtenir d'informations à ce sujet par le fabricant Zaxcom.

b) La préaccentuation

Le spectre d'un circuit électronique est plutôt de type bruit blanc, et celui des signaux transmis (en particulier la voix) est beaucoup moins riche dans les aigus. Le principe de la préaccentuation est de renforcer les aigus à l'émission et de les réajuster à la réception (désaccentuation) afin de réduire le bruit de fond qui serait ajouté dans les aigus. Sans préaccentuation, on risquerait de perdre du rapport signal à bruit.

2.7. Les antennes

Une antenne est un dispositif permettant de rayonner ou de capter à distance les ondes électromagnétiques dans un appareil d'émission ou de réception. Historiquement, l'antenne a été découverte par Popov. L'antenne est un dipôle électrique qui se comporte comme un circuit résonant. La fréquence de résonance de l'antenne dépend d'abord de ses dimensions. Par rapport à la fréquence de résonance centrale de l'antenne, on peut tolérer un certain affaiblissement qui détermine la bande passante.

La polarisation d'une antenne est celle du champ électrique E de l'onde qu'elle émet. Un dipôle demi-onde horizontal a donc une polarisation horizontale. L'antenne isotrope, c'est-à-dire rayonnant de la même façon dans toutes les directions, est un modèle théorique irréalisable dans la pratique. En réalité, l'énergie rayonnée par une antenne est répartie inégalement dans l'espace, certaines directions étant privilégiées : ce sont les lobes de rayonnement. Le diagramme de rayonnement d'une antenne permet de visualiser ces lobes dans les trois dimensions, dans le plan horizontal ou dans le plan vertical incluant le lobe le plus important.

L'antenne demi-onde, comme son nom l'indique, a une longueur presque égale à la moitié de la longueur d'onde pour laquelle elle a été fabriquée. La polarisation est une propriété des ondes électromagnétiques indiquant la direction de leur oscillation, qui est perpendiculaire au sens de propagation. Pour les systèmes HF professionnels ce sont des antennes quart d'onde (en UHF le quart d'onde est de l'ordre de grandeur des appareils eux-mêmes).

Deux polarisations particulières sont

- la polarisation linéaire : la direction de l'oscillation est constante.
- la polarisation circulaire : la direction de l'oscillation tourne autour de l'axe de propagation à la fréquence de l'onde électromagnétique.

Dans la pratique, la polarisation d'une onde peut être intermédiaire entre les deux cas énoncés ci-dessus, mais l'onde peut se décomposer comme somme de deux ondes à polarisation linéaire ou de deux ondes à polarisation circulaire. La polarisation des ondes la plus courante dans les applications grand public, comme la TV terrestre TAT ou TNT la télévision par satellite, est la linéaire horizontale et verticale. On retrouve ces deux polarités dans le domaine du Wifi, du radioamateurisme et dans les transmissions professionnelles.

La longueur d'un conducteur capable d'entrer en résonance sur une fréquence donnée est celle qui permet à l'énergie haute fréquence de faire un aller et retour pendant une durée d'une période. Ce chemin parcouru pendant une période est précisément égal à une longueur d'onde. Si le conducteur a une longueur n fois $\lambda/2$, il en sera de même.

La relation mathématique employée par les fabricants est : $l = c/4f$ (pour le quart d'onde), avec $c=300000\text{km/s}$. Pour une fréquence de 500MHz, on obtient donc une longueur de 15 cm. Des calculs plus précis pourraient être faits, mais ces longueurs ne sont pas critiques car l'accord d'une antenne de micro-émetteur n'est pas au décibel près. La puissance d'émission ne doit pas dépasser 50 mW.

2.8. La portée

Théoriquement et en champ libre, la portée des systèmes HF utilisés dans le cinéma peut aller jusqu'à une centaine de mètres. Pratiquement on peut observer

une portée d'une moyenne de 70 mètres. Le système Diversity (chapitre 2.10 p14) permet d'optimiser la portée. Cette dernière varie en fonction de la nature des obstacles rencontrés mais aussi en fonction des conditions climatiques.

Lorsque les ondes électromagnétiques arrivent sur un mur, une partie de l'énergie est absorbée, une partie passe à travers le mur et une partie est réfléchi. Le pourcentage de chaque partie dépend de la nature du mur et de la fréquence.

Les ondes traversent facilement des murs en bois ou en verre, par contre les murs en béton ou en métal sont de véritables écrans et agissent comme des miroirs, que les hautes fréquences ont du mal à traverser. La réflexion est d'autant plus importante que l'armature métallique est serrée. Le masquage résultant est d'autant plus important que la grandeur des obstacles est importante par rapport à la longueur d'onde.

Pour ce qui est des conditions climatiques, la portée se réduit considérablement en cas de brouillard ou des neiges. En effet, les particules présentes dans l'air dans ces cas-là, font effet de miroir et les hautes fréquences peinent à avancer.

2.9. La True Diversity

Le système Diversity a été développé par les fabricants pour améliorer la qualité de réception des systèmes et pour limiter les problèmes de décrochages¹. L'antenne du récepteur ne capte pas uniquement les ondes électromagnétiques lui parvenant directement, mais également celles qui sont réfléchies localement par les murs, les fenêtres, les plafonds et les différents aménagements. En technique hétérodyne (superposition des fréquences), il se produit des annulations nommées également "trous" d'intensité de champ. En effet, le champ électromagnétique est souvent très interférentiel, donnant ainsi naissance à de nombreuses zones d'ombre de tailles plus ou moins importantes selon les conditions de la longueur d'onde. Par exemple en UHF, les « trous HF » se

¹ on parle de décrochage lorsque la porteuse du signal n'est plus reçue par le récepteur, un bruit rose apparaît donc au lieu du signal utile.

produisent dans des zones allant de 1 à 20 cm environ et l'annulation du signal peut parfois être violenter même à proximité de l'émetteur. S'il est possible d'y remédier dans une certaine mesure en modifiant la position de l'antenne, les "trous" d'intensité de champ ne peuvent être éliminés qu'au moyen du procédé "Diversity". Deux antennes distantes d'au moins une fois la longueur d'onde peuvent ainsi recueillir des signaux d'amplitudes très différentes. De plus, la nature polarisée d'un champ électromagnétique fait que ces amplitudes dépendent également fortement de l'orientation des antennes. Pour des raisons pratiques, un bon compromis, maintenant très largement adopté par les fabricants et les utilisateurs, consiste donc à disposer les antennes à angle droit, à proximité l'une de l'autre.

La réception Diversity repose sur le principe du choix du meilleur signal issu des deux antennes. La réception « True Diversity », la plus répandue, consiste à associer un récepteur par antenne. On utilise en pratique deux antennes au lieu d'une, et deux circuits de réception au lieu d'un. Les antennes sont bien séparées l'une de l'autre, ainsi chaque antenne reçoit un signal HF différent.

Grâce à un système de circuits comparatifs, c'est toujours l'antenne captant le signal HF le plus fort qui est connectée sur la sortie Basse Fréquence commune.

Le système électronique de comparaison (comparateur des tensions continues fonction des niveaux HF) est systématique car en temps réel. De la sorte, la plupart des déficiences HF peuvent ainsi être compensées, puisque les annulations de hautes fréquences ne se manifestent qu'au niveau de l'une des deux antennes, et que l'autre antenne capte un signal entier. Il est important de préciser que le passage d'un signal reçu à l'autre se faisant de manière extrêmement rapide, et sans aucun bruit électronique de commutation, il ne s'entend absolument pas.

2.10. Le squelch

Le squelch est un réglage qui agit sur la sortie du récepteur. C'est un réglage de seuil de bruit. On détermine par le squelch le seuil de différence de niveau acceptable entre le bruit de fond et le signal. Dans le cas où cette différence est inférieure au seuil défini ou si le récepteur ne détecte pas de porteuse (et donc de

signal), la sortie du récepteur est coupée.

En modulation d'amplitude, un affaiblissement du signal HF se traduit par un affaiblissement du signal BF. En modulation de fréquence, un affaiblissement du signal HF se traduit par une remontée de bruit de fond. En conséquence, l'absence de signal HF se traduit naturellement par un bruit de fond maximal en sortie de démodulateur, ce qui est particulièrement gênant. Le squelch est un réglage qui intervient en effet en dernier étage du récepteur. Il peut être réglable par l'utilisateur (pour les produits Sennheiser par exemple) mais ce n'est pas systématique. Ce paramètre permet de ne pas recevoir le bruit rose généré par l'absence de porteuse en cas de problèmes de transmission. Néanmoins un mauvais réglage couperait la transmission d'un signal faible. Le réglage du squelch se fait donc émetteur éteint.

3. *Choix des fréquences*

Les signaux transmis par les systèmes HF audio sont des ondes radioélectriques (électromagnétiques). L'utilisation des différentes fréquences ne se fait pas au hasard. En effet, elle doit se faire en respect de la réglementation car toutes les bandes de fréquences du spectre sont attribuées. Le CSA² et l'Agence Nationale des Fréquences³ travaillent afin de gérer la répartition, la distribution et l'harmonisation du spectre. En France, nul n'est autorisé à émettre sans autorisation de l'administration.

Le spectre des radiofréquences est très large (cf. tableau1). Les différentes bandes de fréquences sur la figure I-3 (p23) donnent un ordre d'idée de la répartition du spectre.

² Conseil supérieur de l'Audiovisuel

³ ANFR

<i>Désignation</i>	<i>Fréquences</i>	<i>Longueur d'ondes</i>
ELF ⁴ – Extrême Basse Fréquences	3 – 30 Hz	100000-10000 km
SLF – Super Basses Fréquences	30 – 300 Hz	10 000 – 1000 km
ULF – Ultra Basses Fréquences	300 – 3 000 Hz	1000 – 100 km
VLF – Très Basses Fréquences	3 – 30 kHz	100 – 10 km
LF – Basses Fréquences	30 – 300 kHz	10 – 1 km
MF – Fréquences moyennes	300 – 3000 Hz	1000 – 100 m
HF – Hautes Fréquences	3 – 30 MHz	100 – 10 m
VHF –Très Hautes Fréquences	30 – 300 MHz	10 – 1 m
UHF – Ultra Hautes Fréquences	300 – 3000 MHz	1 m – 10 cm
SHF – Super Hautes Fréquences	3 – 30 GHz	10 cm – 1 cm
EHF–Extrêmes Hautes Fréquences	30 – 300 GHz	1 cm – 1 mm

Tableau 1

Pour le choix des fréquences, historiquement, la VHF était plus facile à fabriquer (premiers systèmes à 30-40MHz puis 170-220MHz) mais les longueurs d'antennes étaient un peu gênantes. La UHF s'est imposée, pas seulement en France, car c'est un excellent compromis :

- Le quart d'onde est de l'ordre de grandeur des appareils eux-mêmes (pour un émetteur, le couple appareil-antenne forme ainsi naturellement un dipôle, ce qui est propice à l'émission).
- Les antennes sont simples (simple fil)
- La cohabitation avec les émetteurs TV est possible, techniquement et administrativement (réglementation)
- La transmission reste correcte, même en présence d'obstacles (attention aux fréquences trop élevées)

⁴ Abréviations tirés de l'anglais (Extrem Low Frequencies etc...)

3.1. Les bandes VHF / UHF

En France, les bandes de fréquences appelées VHF et UHF sont utilisées pour la diffusion des chaînes de télévision et de radio.

La bande VHF est découpée en 3 sous-bandes :

Bande I : de 47 à 68 MHz pour la télévision

Bande II : de 87.5 à 108 MHz pour la radio

Bande III : de 174 à 221 MHz pour la télévision et la radio numériques

Pour cette dernière, on utilise en France le système L, qui divise la sous-bande en canaux de 8MHz chacun :

Canal	Fréquences (MHz)
L5	174,25 à 182,75
L6	182,75 à 190,75
L7	190,75 à 198,75
L8	198,75 à 206,75
L9	206,75 à 214,75
L10	214,75 à 222,75

Tableau 2

La bande UHF s'étend de 470 MHz à 862 MHz et comporte deux sous bandes, toutes deux dédiées à la diffusion de la télévision :

Bande IV : de 470 à 600 MHz

Bande V : de 614 à 862 MHz

Le câble et le satellite, qui ont besoin d'un maximum de ressources, utilisent les bandes intermédiaires en plus de leurs bandes situées dans les SHF :

L'interbande : de 108 à 310 MHz

L'hyperbande : de 310 à 470 MHz

La TNT, arrivée en France depuis fin mars de cette année, a elle aussi besoin de ressources nouvelles, nous verrons plus tard les problèmes que cela peut poser pour la répartition des fréquences dans le cas des systèmes HF pour la prise de son.

Les fréquences proposées par les fabricants de systèmes HF de prise de son se situent dans les bandes UHF. Dans la figure I-4, nous avons comme exemple les bandes de fréquence utilisées par trois marques de systèmes HF de prise de son,

sur lesquels nous avons effectué des analyses dans la partie pratique de ce mémoire. Leur utilisation dépend néanmoins d'un certain ordre de priorité que nous verrons dans le paragraphe suivant.

Résumons nous pour les bandes VHF et UHF :

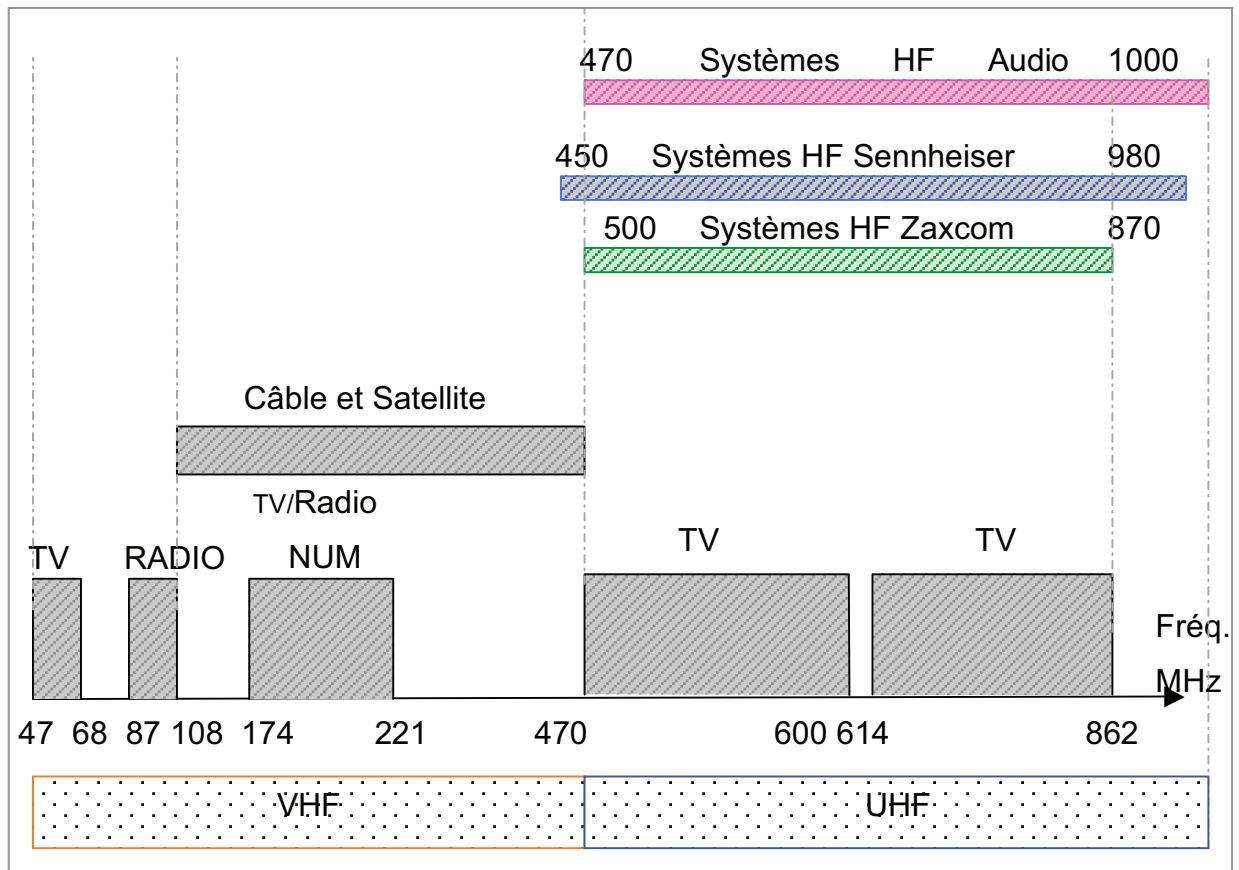


Figure I-4

3.2. La législation

Deux lois, écrites par l'ART⁵ en 1999, définissent la règle à suivre pour l'usage des systèmes HF dans la bande réservée à la télévision (UHF de 470 à 830 MHz). Cette bande, comme nous l'avons vu, est organisée en canaux de 8 MHz, dont les émetteurs sont très puissants. Il est impossible de faire fonctionner sans risque un micro-sans-fil dans un canal de télévision occupé par un émetteur de télévision.

⁵ Autorité des régularisations des télécommunications

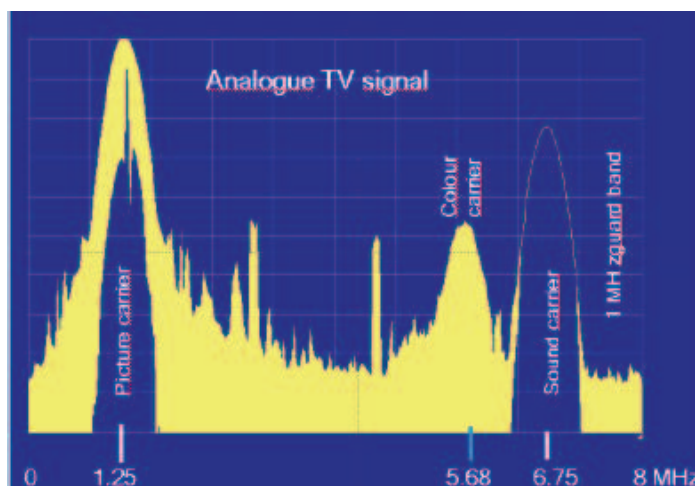


Figure I-5
Canal de 8MHz

Les utilisateurs de micros HF sont considérés comme secondaires et non-prioritaires. Ils ne pourront de toutes les manières jamais émettre sur un canal occupé par un émetteur TV en un lieu donné à cause de la puissance d'émission de ces derniers.

D'une part, la loi définit trois catégories d'utilisateurs :

Catégorie A :

- La société Nationale de Télé ou Radiodiffusion
- Les sociétés privées de télédiffusion
- Les radios nationales

Catégorie B :

- Autres sociétés de radio ou télédiffusion
- Les productions

Catégorie C :

- Les sites fixes pour l'audiovisuel et les spectacles

D'autre part, la loi définit trois séries de fréquences fixes comprises entre 470 et 830 MHz dont chacune est prioritaire pour une catégorie (cf. tableau 4).

Ce plan précise les fréquences centrales d'utilisation des auxiliaires de radiodiffusion de largeur de bande 200 kHz, dans les canaux de radiodiffusion de télévision analogique de la bande de fréquences 470-830 MHz. Ces fréquences sont repérées par un numéro de série allant de 1 à 3.

Pour n, le numéro de canal de radiodiffusion de télévision analogique de la bande de fréquences 470-830 MHz variant de 21 à 65, les fréquences centrales

d'utilisation des auxiliaires de radiodiffusion de largeur de bande 200 kHz sont :

Série 1	Série 2	Série 3
470,750 + 8(n-21)	470,100 + 8(n-21)	470,300 + 8(n-21)
471,250 + 8(n-21)	470,500 + 8(n-21)	471,000 + 8(n-21)
471,500 + 8(n-21)	472,025 + 8(n-21)	472,225 + 8(n-21)
471,750 + 8(n-21)	472,775 + 8(n-21)	472,975 + 8(n-21)
472,500 + 8(n-21)	473,500 + 8(n-21)	474,025 + 8(n-21)
473,250 + 8(n-21)	474,225 + 8(n-21)	474,775 + 8(n-21)
473,750 + 8(n-21)	474,975 + 8(n-21)	476,000 + 8(n-21)
474,500 + 8(n-21)	476,500 + 8(n-21)	476,700 + 8(n-21)
475,250 + 8(n-21)	476,900 + 8(n-21)	477,100 + 8(n-21)
475,500 + 8(n-21)	477,100 + 8(n-21)	477,500 + 8(n-21)
475,750 + 8(n-21)	477,700 + 8(n-21)	477,900 + 8(n-21)
476,250 + 8(n-21)		

Tableau 3

	Série 1	Série 2	Série 3
Catégorie A	Autorisé	Autorisé Non-prioritaire	Autorisé Non-prioritaire
Catégorie B	Non Autorisé	Autorisé prioritaire	Autorisé Non-prioritaire
Catégorie C	Non Autorisé	Non Autorisé	Autorisé prioritaire

Tableau 4

3.3. Les possibilités de fréquences disponibles pour la prise de son.

Les ingénieurs du son étant considérés comme utilisateurs non-prioritaires, ils peuvent utiliser les fréquences UHF réservées à la télévision mais en respectant certaines règles. En effet ils doivent connaître la réglementation (dont nous faisons état dans le dernier paragraphe), évaluer l'environnement HF dans les lieux où ils souhaitent utiliser leurs systèmes, vérifier qu'ils ne reçoivent aucuns

autres signaux que ceux qu'ils produisent sur leurs récepteurs HF, et bien coordonner les fréquences entre elles pour éviter le phénomène d'intermodulation.

Pour simplifier le choix de fréquences de travail, les fabricants mettent au point des plans de fréquences compatibles et respectant la loi, qui se répartissent sur toute la bande UHF. Par exemple, le tableau suivant nous donne les plans de fréquences pour les systèmes de marque Sennheiser. Les six colonnes correspondent à six plages de fréquences compatibles pour les trois catégories d'utilisateurs définies plus haut.

Ae	F	Be	G	Ce	De
518,100	574,100	630,100	686,100	742,100	790,100
522,225	578,225	634,225	690,225	746,225	794,225
523,250	579,250	635,250	691,250	747,250	795,250
524,000	580,000	636,000	692,000	748,000	796,000
525,300	581,300	637,300	693,300	749,300	797,300
528,025	584,025	640,025	696,025	752,025	800,025
530,225	586,225	642,225	698,225	754,225	802,225
530,975	586,975	642,975	698,975	754,975	802,975
533,700	589,700	645,700	701,700	757,700	805,700
534,300	590,300	646,300	702,300	758,300	806,300
537,250	593,250	649,250	705,250	761,250	809,250
538,775	594,775	650,775	706,775	762,775	810,775
539,750	595,750	651,750	707,750	763,750	811,750
540,250	596,250	652,250	708,250	764,250	812,250
541,100	597,100	653,100	709,100	765,100	813,100
541,900	597,900	653,900	709,900	765,900	813,900

Catégorie A  Catégorie B  Catégorie C 

Tableau 2

Depuis la fin du mois de mars de cette année, la télévision numérique émet en France. Cette dernière occupe des fréquences déjà utilisées par la télévision analogique. La bande UHF est donc très encombrée, et par conséquent, cela réduit les fréquences utilisables par les ingénieurs du son. C'est une des préoccupations actuelles des fabricants, qui tentent de négocier un assouplissement de la réglementation. L'article suivant est daté d'avril 2005 et montre que les constructeurs sont en pleine quête de nouvelles solutions pour pallier à l'arrivée de la TNT, et redéfinir des plans de fréquences compatibles.

« Dans la bande aujourd'hui de 470 à 830 MHz, on retrouve les émetteurs de télévision analogiques, c'est-à-dire six chaînes sur chaque ville (parfois cinq

quand Canal+ est diffusé en VHF). Ces six chaînes occupent chacune un canal de 8 MHz ce qui représente 48 MHz du grand espace disponible. Ces canaux sont perdus, car il est impossible de faire fonctionner un micro-sans-fil qui émet avec une puissance de 10 mW dans un canal occupé par un émetteur de télé qui envoie 450 kW comme la Tour Eiffel. Aujourd'hui, les émetteurs numériques arrivent dans la même bande et pour le moment tous les émetteurs analogiques sont conservés (on parle de dix ans) pour des raisons de compatibilité avec les millions de postes de télévision qui existent. L'environnement HF va être de plus en plus congestionné. Nous avons commencé à réfléchir à ce que l'on pouvait faire avec une priorité : essayer d'estimer l'influence de la TNT sur un micro-sans-fil. La bande mesure toujours 8 MHz, mais plein pot, c'est une relative horreur ! ... »⁶

Cette réglementation vient d'être tout juste rediscutée et son assouplissement a été adopté. Le texte sortira dans quelques temps. L'assouplissement vise à libérer les plans de fréquences pour permettre aux utilisateurs de mieux gérer la ressource en fréquence de plus en plus restreinte. Les séries 1, 2 et 3 actuelles proposent des fréquences qui n'ont été définies que pour éviter les chevauchements du spectre, sans vraiment tenir compte des problèmes d'intermodulation. L'assouplissement permettra donc de redéfinir des plans compatibles, au prix d'une entente renforcée des utilisateurs.

3.4. La coexistence de micros sans fil

Dans les zones où se côtoient de nombreuses antennes émettrices ou comportant un grand nombre de stations mobiles en opération, la possibilité de générer des phénomènes d'intermodulation est considérable. Dans le cas de l'utilisation d'émetteurs ayant une puissance de l'ordre de 50mW, et de récepteurs ayant une sensibilité de l'ordre du microvolt, les règles de coexistence sont les suivantes⁷ :

⁶ Entretien avec Alain Richer (directeur marketing Sennheiser France), Sonomag, Avril 2005

⁷ d'après un exposé présenté à l'ART par P.Chenevez

Si les systèmes HF sont séparés d'une distance d'au moins 500 m, il ne risque pas d'y avoir de problèmes d'interférences, et les fréquences peuvent être choisies librement.

Dans le cas où les lieux d'utilisation se trouvent dans un rayon de 50 à 200 m, il existe des risques d'interférences. Il faut donc faire attention à séparer les spectres, et dans ce cas, c'est la priorité qui est à respecter.

Enfin, si la distance séparant les lieux d'utilisation de micros HF n'excède pas 30 m, il existe à la fois des risques d'interférences entre les systèmes et des risques d'intermodulation. La séparation des spectres est alors absolument nécessaire, et le choix des fréquences doit se faire selon le respect des calculs d'intermodulation. La priorité doit être respectée, cependant, la répartition du spectre se révèle être difficile.

3.5. L'intermodulation

Il s'agit de la perturbation apportée par un signal sur un autre signal en présence de non-linéarités (un système non linéaire est un système qui présente en sortie des composantes qui n'existaient pas en entrée, il y a création de nouveaux signaux non désirés). La distorsion d'intermodulation provoque l'apparition de signaux ayant pour fréquence la somme et la différence des fondamentales ou des harmoniques des fréquences de signaux appliqués dans le système.

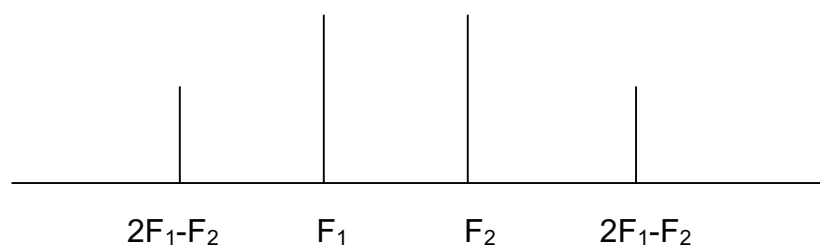


Figure I-6 - L'intermodulation

Il existe plusieurs types d'intermodulation :

- Intermodulation entre deux émetteurs proches
- Interférences (brouillage des signaux) dans les récepteurs, dues à la puissance des signaux à l'extérieur de la bande de fréquence de réception

- Interférences générées dans les antennes, les mâts, les connecteurs et les filtres

Le phénomène d'intermodulation est extrême lorsque deux émetteurs travaillent à la même fréquence. Au signal se superposent alors des « petits oiseaux », cette distorsion électromagnétique perturbe tous les systèmes de prise de son à proximité. C'est-à-dire que dans le cas d'un phénomène d'intermodulation, non seulement les micros sans fil sont touchés mais également les micros filaires à proximité.

L'intermodulation peut se produire aussi entre les harmoniques de 2 fréquences. Dans ce cas, le phénomène n'est pas aussi évident que les « petits oiseaux » mais cependant très gênants.

C'est pourquoi, il existe des programmes de calculs d'intermodulation qui permettent de faire un choix de fréquence évitant les problèmes d'intermodulation. En effet, les différentes fréquences qui interviennent (dues au mélange des signaux au niveau des sorties de l'émetteur) peuvent être calculées au moyen de méthodes mathématiques applicables au fonctionnement des circuits non linéaires.

II - Application de la transmission HF à la prise de son **cinéma**

1. Phénomènes liés à la transmission HF

La transmission HF ne se fait pas de manière transparente, le signal audio subit des altérations. En effet, en comparaison avec une transmission filaire, le signal doit traverser plus d'étages électroniques, et subit une transformation par la modulation. Ces derniers ont probablement un effet sur différents paramètres du signal, que la transmission filaire seule n'engendre pas.

Si la transmission HF est nécessaire à l'usage des micros-cravates, elle ne semble pas indispensable pour la prise de son à la perche. Cependant certains ingénieurs de son utilisent maintenant la perche principale en HF pour des raisons

pratiques de non encombrement par le câble du microphone. Le signal transmis par le micro d'une perche principale est logiquement de meilleure qualité (en terme de couleur spectrale, et de timbrage) qu'une prise de son au micro-cravate, et a un rôle bien plus important dans le sens où la perche principale constitue le son direct de base, fondation de la bande son. Supposant que ce choix de perche HF ne se fait pas en sacrifiant la qualité sonore, nous nous sommes demandé comment étaient appréhendés les problèmes liés à la transmission HF.

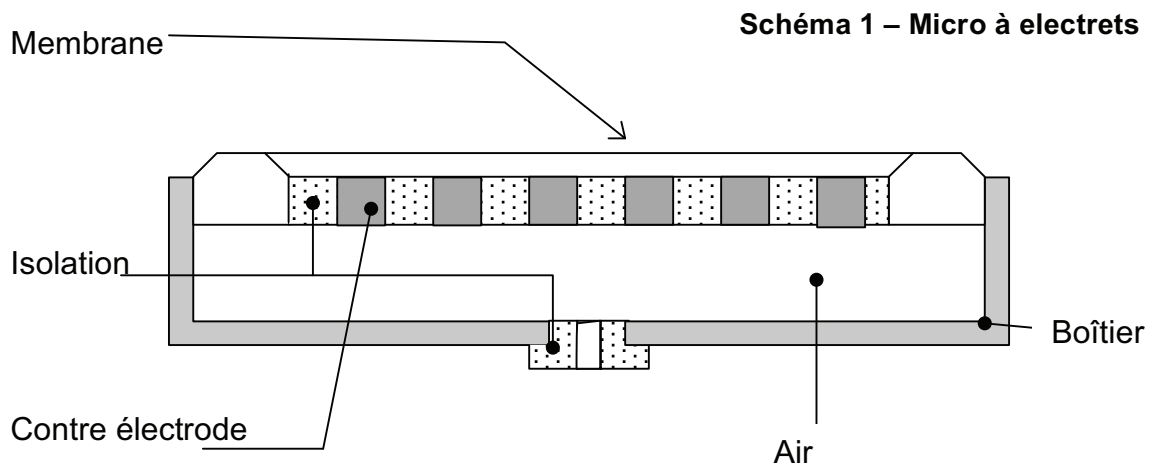
La question à la base de ce mémoire est de déterminer si certains paramètres tels que la dynamique, la qualité des transitoires, l'équilibre spectral, sont modifiés par la transmission HF et dans quelles proportions . De plus, d'autres phénomènes inexistants dans des cas de transmissions filaires s'ajoutent au signal comme la distorsion harmonique, la distorsion d'intermodulation, les parasites liés au décrochage et un bruit de fond résultant de la modulation de fréquence. Il serait donc intéressant de découvrir comment ces phénomènes se superposent au signal audio. Suite aux procédés développés par les constructeurs, ces altérations sont limitées, mais on peut se demander dans quelles proportions le signal restitué est finalement endommagé. Notre domaine d'étude se limite à la prise de son cinéma, l'important sera de déterminer si dans cette application précise, ces altérations sont acceptables, par rapport à l'attente des ingénieurs du son et en corrélation avec le matériel utilisé (avec des enregistreurs multipistes numériques 24 bits...).

2. *Utilisation des micros cravates*

2.1. Micro à électrets – Rappel

Les micros-cravates sont des microphones à électret. Ces types de micros ont un circuit interne adaptateur d'impédance très simple qui nécessite seulement un transistor avec deux résistances et un condensateur. La capsule est la partie qui requiert une technique plus élevée, et la qualité du micro dépend d'elle. La membrane est généralement une feuille de polyester, métallisée sur une face avant d'être soumise au traitement des électrets. Elle est ensuite tendue au-dessus de l'électrode fixe grâce à un anneau qui la maintient. Son épaisseur est comprise entre 5 et 10 micromètres et elle est placée à environ 20 micromètres de

l'électrode fixe mais n'est pas aussi tendue que sur les capsules des transducteurs électrostatiques traditionnels.



Les micros à électrets présentent de nombreux avantages qui ont permis de les adapter en micros-cravates. Ils sont peu onéreux, peu sensibles aux bruits de frottements et de mains, leurs impédances se situent généralement entre 600 et 1500 ohms avec un niveau de sortie assez élevé (entre 3 et 20 mV / Pa), et tout cela avec une courbe de réponse plutôt satisfaisante. En effet, la courbe de réponse s'étend pour la plupart de 50 à 15 000 Hz, mais certains vont de 30 à 20 000 Hz.

Cependant les micros à électrets ont un inconvénient, leur bruit de fond propre est non négligeable, et plus élevé que les microphones électrostatiques traditionnels.

2.2. La miniaturisation des micros à électrets

Les petites dimensions rendues possibles, et la faible sensibilité aux frottements, ont incité presque tous les constructeurs de matériel grand public à miniaturiser les micros et à les placer dans leurs magnétophones portables. Puis dans les années quatre-vingt, les caméscopes ont bénéficié de ces micros, dont la capsule ne dépasse plus alors 1 cm de diamètre. Puis ce fut au tour des micros-cravates d'être développés, encore plus petits.

Les micros-cravates le plus souvent utilisés en cinéma sont de marques Sanken, Tram, ou DPA. Ces capsules sont le plus souvent d'une directivité

omnidirectionnelle, et présentent des courbes de réponses allant de 20 à 20 000 Hz. Les micros-cravates sont étudiés de telle sorte à être le moins sensible possible aux frottements. Plusieurs couleurs sont disponibles (chez Sanken : noir, chair ou blanc) et permettent de se cacher plus facilement sous les vêtements.

2.3. Prise de son de la voix aux micros-cravates

La prise de son aux micros-cravates est une prise de son de très grande proximité et isolant la voix de l'environnement sonore. Ce son de proximité est habituel aujourd'hui, car utilisé principalement pour les émissions de télévision. Pierre Gamet⁸ parle d'« uniformisation » de la prise de son de la voix.

Pour les ingénieurs du son direct, cette prise de son de la voix ne constitue qu'un apport à la perche traditionnelle. En effet, le positionnement et les caractéristiques des micros-cravates ne permettent pas d'obtenir un son de voix acceptable pour une prise de son cinéma, mais qui conviendrait pour une émission de télévision.

La taille ultra-réduite des micros-cravates permet aux ingénieurs du son de pouvoir le placer assez facilement sur les comédiens. Le placement du micro se fait bien entendu en fonction des costumes des comédiens. Généralement la place « réservée » se situe sur la poitrine, sous les vêtements. Ce positionnement influe évidemment sur la qualité du timbre de la voix.

Le spectre se réduit dans les hautes fréquences à partir du haut-médium et se charge dans le bas-médium, conséquence de la résonance du corps du comédien. Son positionnement sous les vêtements a aussi une influence sur la clarté et la précision de la voix, ils sont utilisés le plus souvent en micro d'appoint, en complément de la perche. Cependant, même pour une utilisation de complément, un traitement spectral est toujours nécessaire afin de pouvoir utiliser les sons des micros-cravates. Il arrive toutefois des cas où les ingénieurs du son n'ont d'autres solutions que d'utiliser des micros-cravates en micros principaux. Par exemple, dans le cas d'un plan large, en extérieur (où l'on ne pourrait pas cacher un micro suffisamment près des comédiens dans le décor), et pour un film

⁸ Dans *Le son direct au cinéma*, C. Nougaret et S. Chiabaud, Fémis, 1997

à petit budget où la post-synchronisation serait limitée voire inexistante, les micros-cravates sont utilisés à la place de la perche. Ces cas restent cependant assez rares.

L'épaisseur et la composition du vêtement joue de même un rôle dans la qualité du timbre de la voix. Les ingénieurs du son, au fur et à mesure, ont pu remarquer que les tissus de composition synthétique, au contact des micros-cravates, peuvent provoquer des petits « clics » qui ressemblent à des clics numériques. On peut supposer qu'il s'agit d'électricité statique, ou du frottement des capsules des microphones contre les fibres de ces tissus.

Le positionnement plus ou moins haut sur le torse, se faisant également par rapport aux costumes, influe, nous le verrons dans notre partie pratique, sur la qualité de la voix. Dans le cas où les costumes ne permettent pas de placer le micro-cravate sur le comédien, les ingénieurs du son le placent dans les cheveux, placement peu pratique, car difficile à cacher, mais qui permet d'éviter la résonance du corps. Nous verrons dans la partie pratique les effets réels de ces positionnements sur les spectres obtenus des voix enregistrées.

Bien que présentant ces défauts, ces micros-cravates ajoutent parfois une qualité de timbre à la voix captée par la perche. Les ingénieurs du son travaillent donc à améliorer les timbres des voix des comédiens et leur mouvement dans l'espace et dans le cadre en associant les prises de son des perches et des micros-cravates, tel que le décrit Jean-paul Mugal :

« Les HF ont fait beaucoup de progrès. Nous arrivons à faire de belles choses en leur donnant de l'air. À partir du moment où le micro qui élargit le HF est assez prédominant, tous les retournements des comédiens, les déplacements, existent vraiment, ils sont vivants. Avec une prise de son faite uniquement aux HF, la voix garde toujours la même distance par rapport au micro, ce qui est faux et manque de profondeur, d'ambiance. »⁹

Un autre inconvénient de cette prise de son aux micros-cravates réside dans l'impossibilité d'une symbiose entre l'image et le son en termes de plans. En effet, elle ne peut suggérer que des premiers plans et néglige l'environnement sonore.

⁹ Dans *Le son direct au cinéma*, C. Nougaret et S. Chiabaud, Fémis, 1997

Pierre Gamet parle de cette méthode de prise de son :

« Je ne pense qu'à une chose en posant un micro sur la poitrine d'un acteur : pourvu qu'il ne frotte pas sur les vêtements. En corrigeant un peu, nous pouvons donner plus de rondeur, plus de pointu, améliorer le timbre de la voix d'un acteur, mais nous sommes quand même dépendants de la proximité du micro-émetteur par rapport à la voix.

J'admire beaucoup le travail de l'ingénieur du son américain James Savatt sur les films de Woody Allen, j'ai été sidéré d'apprendre qu'il ne doublait pratiquement rien. C'est absolument parfait. Woody Allen accepte et défend la convention du son qui n'est pas juste par rapport à l'image. Il l'intègre à sa mise en scène. Il déambule en parlant dans les rues de New York pendant des plans de cinq à six minutes : refaire tout en synchro serait une horreur. Il n'en est pas question, il préfère un son HF de proximité. C'est un son de très bon reportage qui ne le dérange pas. Seul le texte est important.

J'ai connu l'époque sans HF où nous prenions un plaisir fou à résoudre les problèmes : c'était de l'acrobatie. Certains metteurs en scène ne comprendraient pas ça maintenant. »

L'arrivée des bipistes puis maintenant des multi-pistes donnent aux ingénieurs du son la possibilité de séparer les HF de la perche, et d'offrir aux monteurs et aux mixeurs, un plus large choix de sons, ce qui permet de pouvoir sauver certains mots, qui auraient été mal captés par la perche. Les problèmes de retard entre la perche (filaire) et les micros-cravates sont à gérer de même au moment de la post production. S'ils peuvent être gérés partiellement dans le cas où la distance perche / micro-cravate est fixe, cela s'avère être plus compliqué dans les cas où la distance et donc les retards varient.

Cependant, l'utilisation de ces micros-cravates ne se limite pas aux avantages pour certains ingénieurs du son. En effet ils n'ont plus vraiment le choix de travailler avec ou sans , mais ils s'en passeraient encore volontiers, comme le décrit Eric Devulder :

« Les réalisateurs imaginent que la prise de son avec les émetteurs leur donne beaucoup plus de facilité de filmage, qu'elle leur permettrait de faire une scène dans n'importe quelle distance, avec trois caméras en même temps... Ils pensent

qu'avec des HF de toute façon, cela sera vite fait bien fait ! Ce n'est pas si simple. Pour poser des HF, Il nous faut préparer les costumes, des répétitions pour doser la balance et faire des corrections.

Mon rêve est de faire un film simplement à la perche, avec un micro au-dessus des comédiens et que cela soit beau. Ces films-là existent, mais ils sont rares. Sur un plan acoustique, la modulation à la perche est beaucoup plus jolie, mais, quelquefois, c'est au détriment du jeu des acteurs. Comme pour ces petits sons, sous forme de respirations, de tensions, de soupirs, de mots à moitié dits, que l'on ne capte que sur les HF et qui donnent sur les plans larges une intensité aux comédiens, difficile à obtenir avec seulement la perche. L'avantage du bipiste est de pouvoir emmener jusqu'au bout ce choix de privilégier l'acoustique ou la présence de l'acteur. »¹⁰

2.4. Perche HF

Si l'utilisation des systèmes HF s'est avérée nécessaire avec les micros-cravates, l'usage de perches HF n'est pas encore universellement adopté par les ingénieurs du son. Un tel dispositif présente l'avantage pratique pour le perchman de ne pas être embarrassé dans son mouvement par son câble. L'absence du câble permet également d'éviter les phénomènes de « ronflette » résultant du croisement et de la proximité des câbles électriques présents en grand nombre sur les plateaux.

Les systèmes HF aujourd'hui sont assez performants, et présentent une portée telle que les « décrochages » ne sont plus à craindre dans les configurations habituelles des tournages.

L'inconvénient majeur de l'utilisation d'une perche HF réside dans le poids de la perche. Alors que les fabricants ne cessent de travailler sur des matières de plus en plus légères pour réduire le poids de cette dernière, l'émetteur HF et l'adaptateur 48V, le plus souvent placés en bout de perche, l'alourdissent considérablement. La raison qui pousse les perchmans à mettre les émetteurs en bout de perche est de se libérer complètement des câbles du microphone, car si

¹⁰ Dans *Le son direct au cinéma*, C. Nougaret et S. Chiabaud, Fémis, 1997

l'émetteur est placé dans une des poches du perchman, la longueur de câble suivant la longueur de la perche serait un nouvel encombrement à gérer. Cependant cet inconvénient de poids ne semble pas incommoder les perchmans qui se plient volontiers à l'avis de leur chef quant à la qualité du signal sonore.

Le choix des ingénieurs du son quant à l'utilisation des perches HF semble être très variable et aucune tendance ne prévaut pour le moment.

CONCLUSION DE LA PARTIE THEORIQUE

L'utilisation des systèmes HF est aujourd'hui généralisée sur les plateaux de tournage par, principalement, l'usage des micros-cravates.

La prise de son HF fait apparaître une série de phénomènes qu'il convient de contrôler. Tout d'abord, l'usage des systèmes HF est soumis à une réglementation précise concernant les fréquences utilisables pour les ingénieurs du son.

Ensuite, la transmission HF nécessite une modulation du signal. Les problèmes liés à cette transmission comme le bruit de fond, la portée, l'intermodulation ont été progressivement appréhendés et maintenant gérés grâce à des procédés techniques évolués, développés au fur et à mesure par les fabricants. Cependant, on peut supposer que les caractéristiques propres du signal comme l'équilibre spectral, la dynamique et le rapport signal sur bruit sont atteints par la compression et la modulation du signal.

La question aujourd'hui serait de déterminer dans quelles limites les altérations du signal transmis pourraient être négligeables ce qui permettrait peut-être une généralisation la prise de son HF, y compris pour les perches principales.

B- Partie Pratique

INTRODUCTION

L'objectif de cette partie, dans un premier temps, est de déterminer si les signaux obtenus lors d'une prise de son par la technique des hautes fréquences sont d'une qualité comparable à ceux issus d'une prise de son filaire. Tout d'abord, et afin de déterminer les effets de la transmission HF sur les signaux audio, nous allons mener des séries d'expériences et d'analyses. Nous allons tenter d'évaluer la qualité des signaux audio transmis par la technique des hautes fréquences.

Pour déterminer s'il y a des différences de comportements entre différents systèmes, nous avons choisi de soumettre les deux marques de systèmes HF analogiques, les plus utilisés en cinéma, et un système numérique, à une comparaison avec une prise de son filaire pour des signaux variés. Ces marques sont Audio Limited, Sennheiser et Zaxcom. Notre étude commencera par donner les spécifications techniques des appareils, fournies par les fabricants, puis nous indiquerons les caractéristiques que nous avons mesurées expérimentalement.

Dans un deuxième temps, nous nous attacherons à l'étude de l'utilisation des micros-cravates. Pour ces séries d'analyse, nous avons choisi d'effectuer des mesures avec un type de matériel en accord avec ce qui est le plus fréquemment utilisé aujourd'hui.

Nous étudierons la prise de son de la voix aux micros-cravates, pour déterminer quelle influence a le positionnement sur la qualité du timbre de la voix, et dans quelles limites ces systèmes peuvent être utilisés. Les enregistrements effectués dans ce but ont une valeur qualitative et informationnelle. En effet, il apparaît bien évidemment complexe de déterminer les conditions réelles d'utilisation des micros-cravates car chaque cas présente bien souvent des conditions particulières. Ces mesures ont donc pour but de déterminer quelques paramètres qui influent sur la qualité du timbre et de la précision de la voix, mais les résultats ne peuvent être généralisés. En effet, classer les différents positionnements possible n'est pas notre but, car une quantité ingérable d'éléments rentrent en compte, tout autre que des problèmes liés directement au son. Ceci constitue là les limites de notre étude sur les micros-cravates.

I - Systèmes soumis aux analyses- Description

1. *Audio Limited*

1.1. Présentation de la société

Audio Limited conçoit et fabrique des systèmes audio et microphones depuis 1963, et s'est fait connaître dans le monde entier. Ses produits dans le domaine des émetteurs-récepteurs H.F. sont largement utilisés par les ingénieurs du son dans le cadre de la prise de son au cinéma. Nous allons étudier le système de transmission H.F. RMS 2000, qui est très fréquemment utilisé.

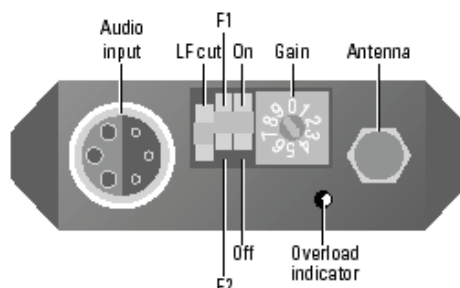
1.2. Le système RMS 2000 – Description

Le RMS 2000 est un système H.F., de 32 canaux, à synthèse de fréquences, incluant le système diversity (cf. partie théorique p 12). L'émetteur TX 2000, d'une taille adaptée pour les poches, est alimenté par une pile 9V, pour une utilisation avec une grande gamme de micros-cravates. Le récepteur du système DX 2000 peut être utilisé seul (portable), ou monté dans un rack (le RK2 mini ou le DK2000). Le minirack RK 2 permet de monter 2 récepteurs dans un rack portable. Le rack DK2000 permet de monter 4 récepteurs, avec un contrôle visuel des niveaux de batterie des émetteurs. Ce système permet un choix de 32 fréquences opérationnelles, dans 2 banques situées dans le domaine UHF (470MHz à 1000MHz), ce qui peut permettre d'éviter les interférences.

1.3. Description

L'émetteur TX 2000 possède une connectique lemo 6 broches qui lui permet d'avoir des entrées audio de type micro ou lignes. Il possède un filtre coupe-bas dont la fréquence de coupure est de 50 Hz (-6 dB). Le gain est réglable de 0 à 7 (4 dB par cran) dans le cas d'une entrée micro, et de 8 à 9 dans le cas d'une entrée ligne.

Figure I-1 – Émetteur

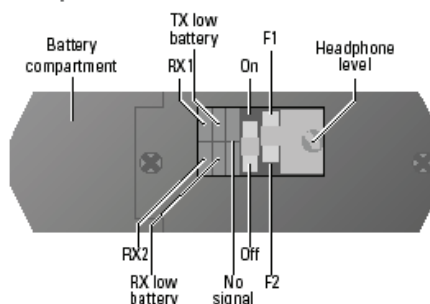


Il peut être utilisé dans des conditions de température extrêmes allant de -20 °C à +55 °C.

Le niveau maximum d'entrée est de -6 dBm en position 7 (entrée micro) et de +6 dBm en position 8 (entrée ligne, 600 ohms). L'étude de ce système permet d'avoir une vision générale des systèmes H.F. utilisés le plus fréquemment.¹¹

Le récepteur DX 2000 fonctionne avec 3 piles au lithium CR123A assez coûteuses (environ 7 euros l'une) qui présentent une autonomie de 10 heures environ. Le récepteur peut aussi être alimenté en 9-14V continu via une fiche Lemo (6). Les voyants TX et RX indiquent si le récepteur ou l'émetteur ont une batterie faible. Le troisième voyant à droite s'allume (le No signal) lorsque le récepteur ne reçoit pas de signal. Le premier switch est un interrupteur On-Off, mais la déconnection de la fiche Lemo provoque instantanément l'arrêt de l'alimentation du récepteur et le met en quelque sorte en mode veille. Le deuxième switch détermine quelle « banque » de fréquences on choisit.

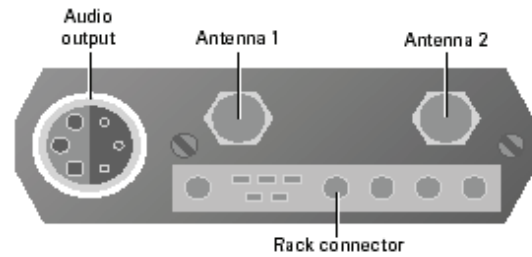
Figure I-2 – Récepteur



Sur la face du haut se trouvent les 2 antennes (système diversity) et la sortie audio.

¹¹ les caractéristiques techniques sont données dans le tableau 5 de la page 45

Figure I-3 – Récepteur (face du haut)



Son niveau de sortie symétrique est de – 26 dBm.

- Taille : 147x64x20 mm

- Poids : 250 g

2. *SENNHEISER*

2.1. La gamme HF

Les produits de la gamme H.F. Sennheiser sont principalement utilisés pour les concerts et spectacles pour des raisons techniques (qui permettent d'en utiliser un grand nombre en même temps sans craindre les interférences), mais aussi en cinéma pour des raisons ergonomiques car certains émetteurs sont de petite taille.

2.2. Descriptions techniques

De la même façon que pour Audio Limited, nous allons étudier un produit de la gamme H.F. Sennheiser représentatif.

Les caractéristiques techniques des différents systèmes HF Sennheiser utilisés pour la prise de son cinema sont équivalentes.



L'émetteur SK50 est un modèle qui comporte 16 choix de fréquences en UHF. Le réglage du gain se fait par cran de 1 à 7, et chaque palier correspond à une atténuation de 8 dB. Son boîtier est entièrement métallique et son système d'ouverture du placement des piles est très hermétique.



Le récepteur EK 3041 présente les caractéristiques suivantes :

- Choix de 32 fréquences
- Largeur d'excursion : 24 MHz
- Bande de fréquence : 450-960 MHz
- Système de réduction de bruit : Compander « HiDyn plus »
- Bande Passante : 50-20000 Hz
- Sortie max : +9 dBu
- Rapport signal à bruit max : 114 dB(A)
- Taux de distorsion harmonique : <0.5 %
- Batterie : 10.5 V-18 V en courant continu (32 mA)
1.8 V-4.5 V en courant continu (150 mA)
5 V-9 V en courant continu (70 mA)
- Dimensions : 120 x 74 x 28 mm
- Poids : 201.3 g

3. ZAXCOM

3.1. Présentation de la société

Zaxcom conçoit et fabrique de l'équipement audio et vidéo professionnel depuis 1985. En 1985, Glenn Sanders, fondateur et président de Zaxcom développe le premier système TBC Control pour l'édition vidéo. Ce produit a fait la

réputation de Zaxcom dans le milieu professionnel.

Depuis 1990, la société commence à développer des produits pour l'industrie Audio : d'abord, en concevant sa première console numérique, la DMX 1000, dédiée à la post-production audiovisuelle ; ensuite, toujours des consoles numériques, mais dédiées au domaine de la radiodiffusion.

En 1996, Zaxcom commence le développement du Déva, premier enregistreur 4 pistes sur disque dur. Depuis 2001, Zaxcom s'est lancé dans le développement de systèmes H.F. numériques : le **Zaxcom Digital Wireless**. La gamme **Digital Wireless** est, comme son nom l'indique, un système de transmission HF numérique. C'est, à notre connaissance, le seul fabricant à commercialiser ce type de produit dans le domaine de l'audio professionnel. Il est aujourd'hui utilisé pour des tournages télé et quelques ingénieurs du son commencent à l'utiliser pour le cinéma.

3.2. Les avantages d'un système H.F. numérique

La transmission de ce système numérique est de bonne qualité grâce à un convertisseur Analogique-Numérique 24 bit 96 kHz. La dynamique possible est annoncée à 105 dB avec un taux de distorsion harmonique réduit. L'absence de système de compression-expansion (compander), obligatoire en analogique dû à la faible dynamique possible, permet d'avoir moins de distorsions à l'arrivée.

De plus il offre une bonne résistance aux différentes sources d'interférence qui affectent les systèmes analogiques.

La transmission audio est sécurisée, le signal reçu ne peut avoir été émis que par un appareil Zaxcom. On peut, en plus, rentrer un code de sécurité pour empêcher le décodage des informations.

Le meilleur canal disponible est détecté automatiquement. Le système est capable de balayer la bande de 25 MHz sur laquelle il est affecté, et de sélectionner le meilleur canal.



Figure I-4 - Émetteur Goldline

Ce système utilise une modulation de type Digital-multi format (cf.2.5 p11). Ses préamplificateurs micros sont symétriques et d'une impédance de 600 ohms. Il possède un coupe-bas réglable de 30 à 200 Hz par pas de 10 Hz et un limiteur d'entrée. Du fait des conversions analogiques numériques, il présente un délai de 3 ms (mesuré effectivement à 182 échantillons). Ce délai représente, aux yeux des ingénieurs du son direct, l'inconvénient majeur de ce système. En effet, pour l'écoute des HF et d'une perche simultanément, ce délai n'est pas gérable facilement. En effet il faudrait pouvoir introduire un délai sur la perche et donc avoir une console numérique.



Figure I-5 - Récepteur Goldline

La technologie de réception est une démodulation numérique de type True Diversity.

Les niveaux de sortie sont de -30 dBm en niveau micro, et de -10 dBm en niveau ligne. Le convertisseur numérique-analogique travaille à 24 bits 96kHz. Les

fréquences d'échantillonnage de sortie sélectionnables entre 32 kHz, 44,1 kHz, 48 kHz et 96 kHz. La bande passante s'étend de 30 Hz à 16 kHz.

Ce récepteur Zaxcom est équipé de sorties AES-UEF et analogiques. Les connectiques sont un TA5M Switchcraft pour l'analogique, et un BNC 75 ohms pour le numérique AES-UEF.

Nous l'avons utilisé avec l'émetteur mono goldline présenté plus haut, mais il peut être également utilisé avec un émetteur stéréo (nommé Stereoline).

Paramètres	<i>Audio Limited</i>	<i>Sennheiser</i>	<i>Zaxcom</i>
Bande Passante	50 à 20000 Hz	45 à 20000 Hz	30 à 16000 Hz
Puissance de sortie	50 mW	50 mW	5, 10, 25, 50 mW
Rapport signal à bruit	104 dB	> 117 dB	117 dB
Tx de distorsion harmonique	< 0,3 %	< 1 %	0,01%
Nombre de fréquences	32	16	N.C
Poids	115 g	197 g	99 g
Dimensions	87x 60 x 21 mm	94x 60 x 17mm	17 x 56 x 69 mm
Excursion	24 MHz	24 Mhz	25 Mhz
Largeur de Bande	470 - 1000 MHz	450 – 960 MHz	536 – 850 MHz
Batterie	une pile 9 V 6LR61	2 piles LR 06	2 piles LR 06
Autonomie	6 heures	4 heures	4 heures

Tableau 3 - Caractéristiques techniques des 3 émetteurs

Au vu de ces caractéristiques, il serait tentant de supposer que ces systèmes HF sont d'une qualité équivalente à une transmission filaire. En effet, les taux de distorsion fournis sont très bas et les conditions de mesures ne sont pas précisées (pour quelles fréquences notamment ces mesures sont valables), et les rapports signal à bruit sont très élevés.

L'excellence de ces données fournies nous a poussé à réaliser nos propres mesures sur ces trois systèmes, c'est là le premier objectif de cette partie pratique.

4. Les micros

Nous avons choisi d'effectuer une série d'enregistrements avec un micro Neumann hypercardioïde KM 150, car il s'agit du micro le plus utilisé pour les perches en tournage actuellement. Il présente une courbe de réponse relativement plate de 500 Hz à 5 kHz :

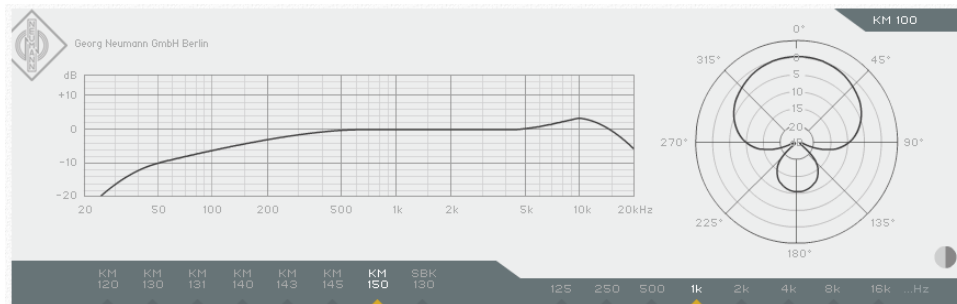


Figure I-6 – Courbe de réponse et directivité du KM 150

De la même manière que pour le KM 150, nous avons choisi un micro-cravate de marque Sanken, très fréquemment utilisé en cinéma.

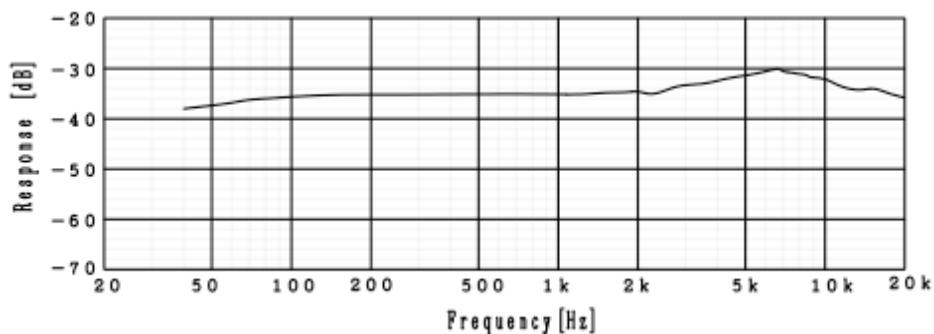


Figure I-7 – Courbe de réponse de la capsule cos11 Sanken

On note une accentuation marquée des aigus (+7dB vers 6kHz) qui doit compenser l'importance des mediums et bas mediums due au positionnement du micro sur les comédiens.

Les réponses des deux micros différents en dessous de 500 Hz, car le KM 150 coupe dans les graves mais le cos 11 reste relativement plat jusqu'à 50Hz, cela s'explique bien évidemment par leur directivité. Cependant leur courbe au dessus de 500 Hz sont assez ressemblantes, c'est ce point commun qui nous a permis de confirmer notre choix.

II - Étude des paramètres liés à la transmission HF

Comportements des trois systèmes

1. Courbes de réponses

Les systèmes HF agissent bien évidemment sur le spectre des signaux audio. Pour chaque appareil, nous avons relevé les courbes de réponse en amplitude et en phase. Les signaux ont été envoyés en sinus glissant à un niveau maximal (c'est-à-dire juste avant le déclenchement du limiteur) à l'émetteur par un analyseur Neutrik qui récupère les signaux en sortie récepteur. Nous avons réalisés les mêmes analyses à partir de fichiers waves analysés par le logiciel Matlab. Nous avons trouvé strictement les mêmes résultats. Les courbes présentées pour chaque système représentent les réponses à un niveau d'envoi maximal (avant limiteur) et à un niveau moins important (-30 dB).

Quelques caractéristiques se distinguent : l'Audio Limited (figure II-1) présente une coupure des basses de 40 à 70 Hz, une légère accentuation des haut grave (80 à 120 Hz), mais la courbe est assez plate de 400 Hz à 10 000 Hz.

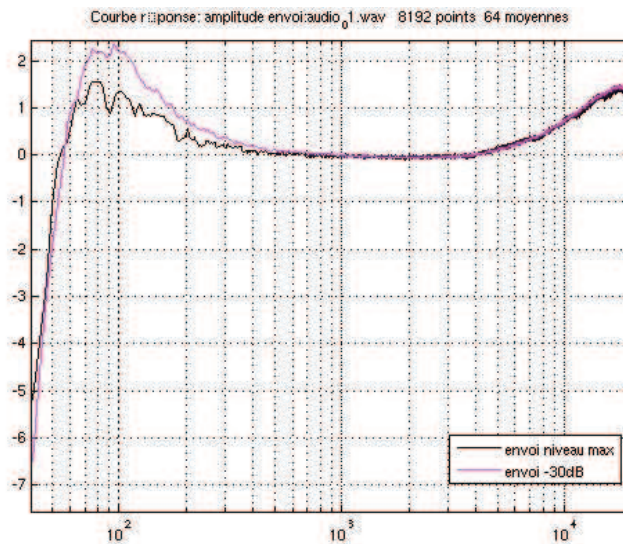


Figure II-1-Courbe de réponse Audio Limited

Dans le cas d'un niveau d'envoi de -30dB par rapport à un niveau d'envoi maximal, on constate une remontée de 60Hz à 300Hz, qui correspond à une augmentation du bruit de fond.

La courbe de réponse de Zaxcom (figure II-2) est particulièrement plate de 500 Hz à 10kHz. Elle coupe à 16kHz (ce qui est dû au convertisseur analogique numérique qui travaille à une fréquence d'échantillonnage de 32 kHz). En dessous de 500 Hz, une coupure des basses se fait progressivement (-1dB à 100Hz). Nous constatons en comparant les deux courbes proposées que quelque soit le niveau d'entrée, la réponse du système est strictement identique et aucun bruit de fond n'est ajouté dans le cas d'un niveau d'envoi faible.

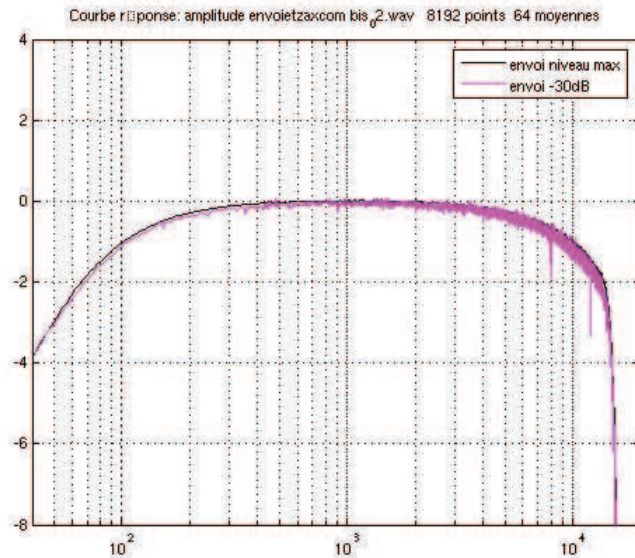


Figure II-2-
Courbe de réponse
ZAXCOM

Enfin le Sennheiser présente une courbe relativement plate dans le cas d'un envoi maximal avant limiteur. Par contre lorsque le niveau d'envoi est inférieur de 30dB au niveau maximal, on constate une importante augmentation du bruit de fond.

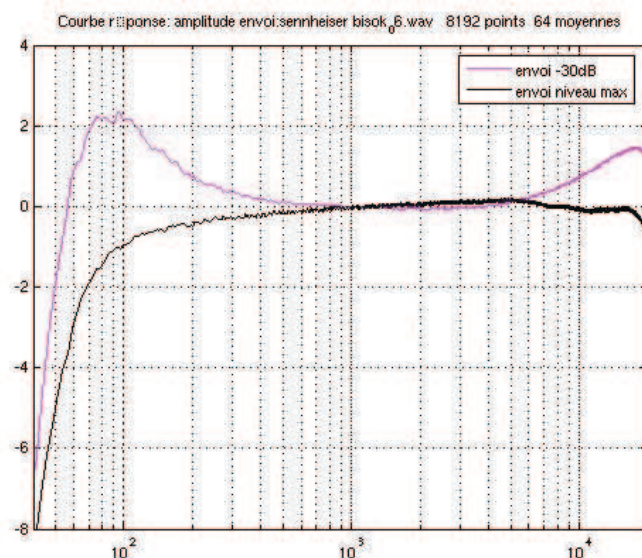
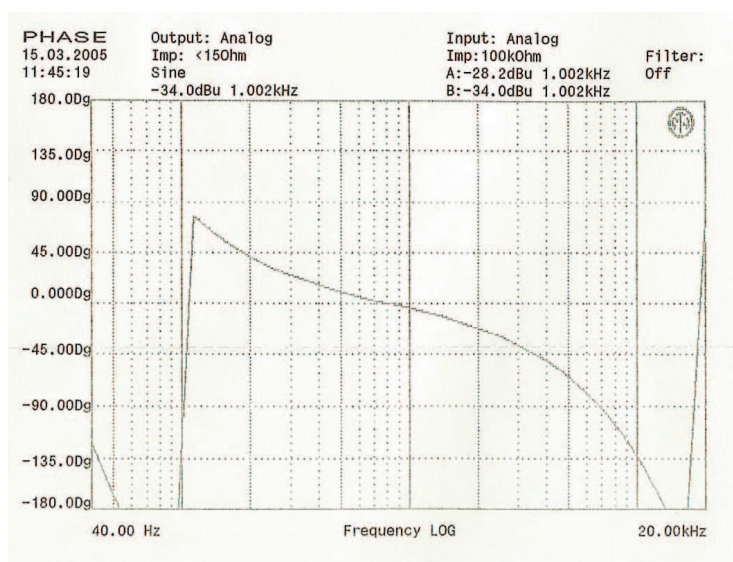


Figure II-3-
Courbe de réponse
SENNHEISER

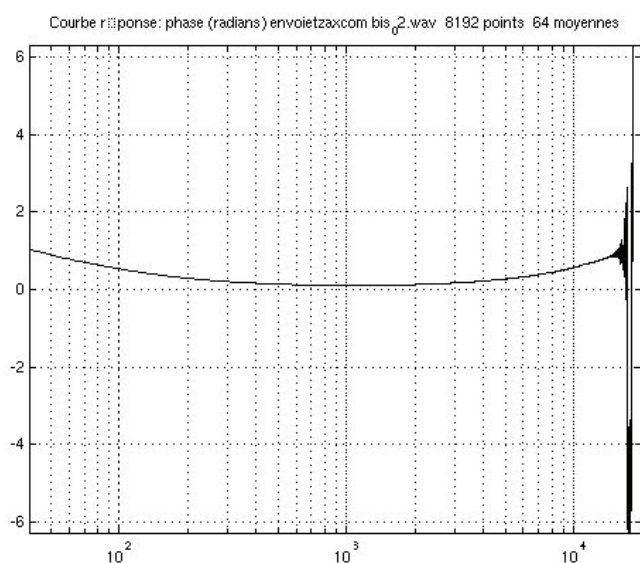
2. La phase

Une analyse de la phase nous a montré son instabilité sur tout le spectre pour les deux systèmes analogiques (fig. II-3).



**Figure II-3 –
Courbe de réponse en
phase de l'appareil
Audio Limited**

Ce n'est pas le cas pour la phase du système numérique qui est tout à fait stable :



**Figure II-4 –
Courbe réponse en
phase du système
Zaxcom**

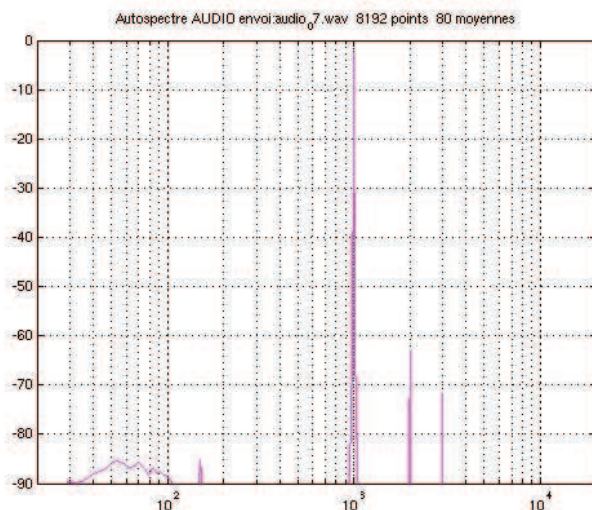
Des écarts de phase si importants dans le cas des systèmes analogiques laissent à penser qu'une transmission HF ne permet pas de transmettre un espace stéréo. Nous avons mené l'expérience avec un couple AB ORTF, en enregistrant des placements bien définis d'un narrateur, parlant en agitant ou pas des clés. Il se trouve que l'espace stéréo restitué est fidèle à l'original, et que la précision de latéralisation n'est pas endommagée. Cela paraît surprenant mais le déphasage inhérent à la stéréo (couple AB), est lié à la différence de marche et

correspond à un retard alors que le déphasage lié à la transmission HF est un déphasage pur (de polarité). Cela explique pourquoi la stéréo n'est pas endommagée. Une expérience intéressante serait de tester la restitution de l'espace stéréo d'un couple MS, dont la stéréo se base sur le ΔI , transmis en HF.

Nous avons imaginé qu'une des conséquences de ces écarts de phase des systèmes analogiques pourrait être avantageuse. En effet, les distances perche / micros-cravates variables entraînent des variations de phase que on peut ressentir sur des sifflantes par exemple. Les écarts de phase pourraient peut-être dans ces cas-là noyer et donc adoucir ces effets de phasings. Il serait intéressant de mener l'expérience en faisant varier les distances entre une perche et un micro-cravate tous deux transmis par voie filaire puis en ajoutant un système HF (pour le micro-cravate par exemple) et de déterminer si les effets de phasings sont aussi gênants.

3. Réponse à un signal sinusoïdal (1000 Hz) - Distorsion

Nous avons relevé les réponses de chaque système à un signal sinusoïdal simple (1000 Hz). Quelques parasites apparaissent pour suite à la transmission HF. En effet, le signal enregistré après une simple transmission filaire présente une raie parfaite à 1000 Hz et aucunes autres fréquences.



**Figure II-5 –
1000Hz Audio
Limited**

Pour le système Audio Limited (fig. II-5), on note l'apparition d'harmoniques (de rang 2 et 3), et une légère bosse au niveau du 50 Hz, qui est du bruit de fond, de très faible niveau (- 85dB). Ces apparitions d'harmoniques à des niveaux d'environ

-60 dB, nous laissent penser que le taux de distorsion n'est pas optimal.

Sennheiser présente une bosse aussi vers 50Hz, mais plus marquée (-64 dB), ce qui nous montre très clairement un niveau de bruit plus important, vérifié à l'écoute, et de nombreuses harmoniques de niveau plus important .

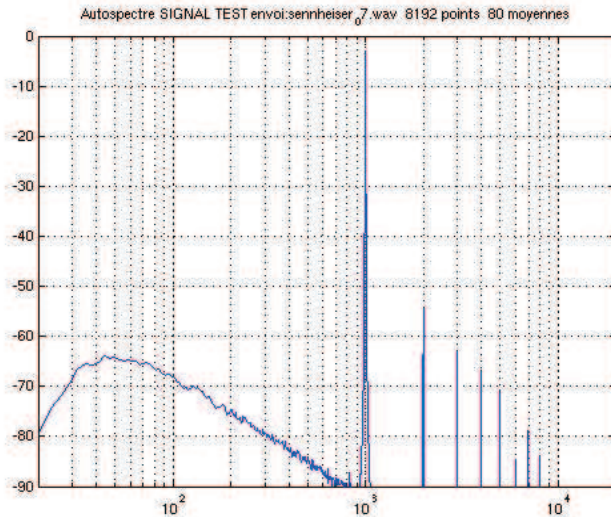


Figure II-6
– 1000 Hz –
Sennheiser

Enfin, la courbe de réponse correspondant à la transmission numérique Zaxcom (figure II-7 présente des parasites de bas niveau sur tout le spectre, qui représente le bruit, non éliminé par la transmission car le système numérique ne fonctionne pas avec un système de compression – extension du signal. Ce bruit présente cependant un niveau très faible. Nous notons la présence d'harmoniques de très faible niveau.

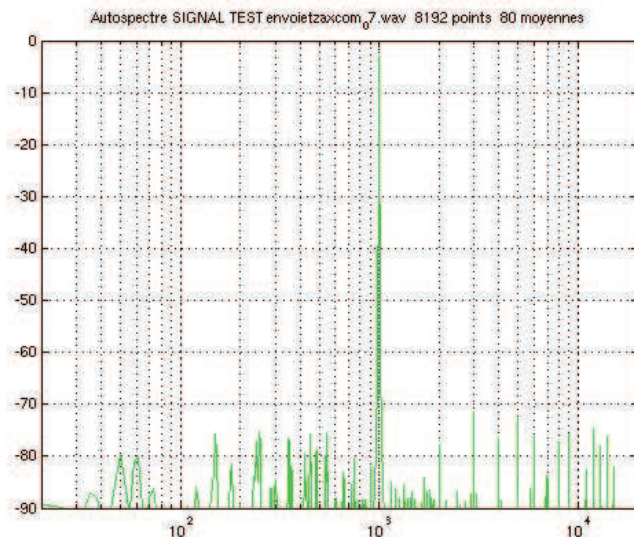


Figure II-7 – 1000 Hz -
Zaxcom

L'analyse de ces réponses à un signal sinusoïdal nous permet de déterminer les altérations du signal ajoutées par la transmission HF. On peut noter l'apparition

d'un bruit de fond et d'harmoniques pour les trois systèmes. Ces harmoniques nous permettent d'évaluer les différences de taux de distorsion des trois appareils, en comparant le niveau des premières harmoniques. Nous pouvons d'ores et déjà conclure que l'appareil numérique présente un taux de distorsion harmonique bien moins important que les deux autres. La distorsion étant apportée principalement par la compression, non présente dans le système numérique, ce n'est pas étonnant.

La distorsion est la déformation non désirée subie par un signal audio au cours de sa transmission ou de son traitement, augmentant avec la distance parcourue. On distingue la distorsion harmonique, présente à des degrés divers dans tous les systèmes de transmission, qui ajoute des composantes « naturelles » au son, et la distorsion inharmonique, causée par des phénomènes d'intermodulation, et beaucoup plus nuisible sur le plan de la perception puisque les composantes ajoutées sont arbitraires et par conséquent perçues comme du bruit. La distorsion est un paramètre important à considérer pour la transmission HF. Elle varie selon les fréquences et le niveau d'entrée au niveau de l'émetteur. Nous avons relevé les courbes de distorsion pour Audio Limited et Zaxcom. Audio Limited présente un taux de distorsion harmonique stable de environ 0,2 à 0,3% pour les fréquences comprises entre 300 et 3000Hz. On peut voir que le taux de distorsion harmonique de 40 à 150 Hz est très important (jusqu'à 6%). Pour les fréquences supérieures à 3000 Hz, la distorsion remonte pour atteindre 1,25% vers 15000Hz. On peut conclure que si le taux de distorsion est catastrophique en dessous de 150 Hz, il paraît tout à fait convenable pour le reste du spectre et en particulier pour le spectre de la voix.

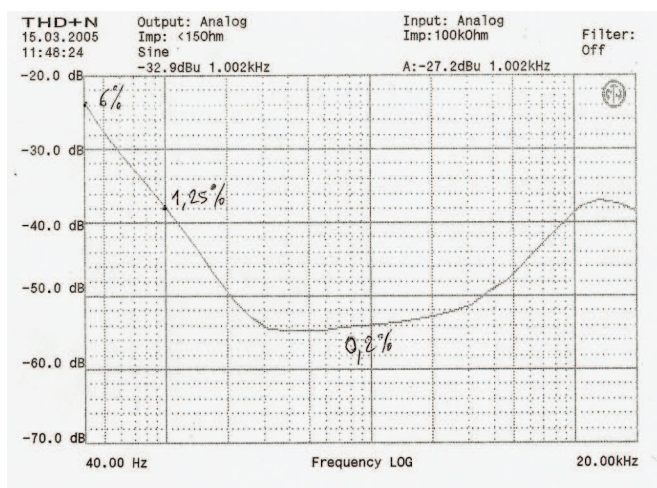


Fig.II-8 – Distorsion Audio Limited

La distorsion relevée pour Zaxcom présente une excellente stabilité pour tout le spectre. En effet, elle se situe à 0,1% jusqu'à 6000Hz. (cf. figure II-9 : -60 dB sur l'axe des ordonnées correspond à une mesure de 0,1%). C'est la transmission numérique qui permet ce très bas taux de distorsion, en effet la qualité du signal audio transmis est conservée.

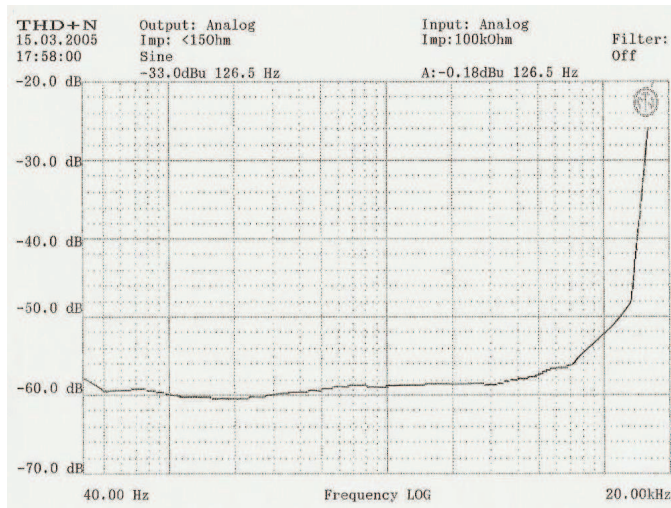


Figure II-9-Distorsion de l'appareil Zaxcom

. La remontée après 16kHz n'a pas de sens et s'explique par le fait que le système ne transmet pas de signaux au-dessus de cette fréquence (cf.fig. II-2 p44).

Enfin, le système Sennheiser présente une courbe de distorsion ressemblant à celle produite pour l'Audio Limited. Sur la figure suivante (II-10), est représenté le taux de distorsion harmonique pour deux fréquences (1000Hz et 4000Hz) pour des niveaux d'envoi différents. Nous constatons qu'à 1000Hz, la distorsion reste inférieure à 1% jusqu'à -38dBu d'envoi. Le taux de distorsion est plus important à 4000Hz (1%) et de même assez stable dans les mêmes niveaux d'envoi.

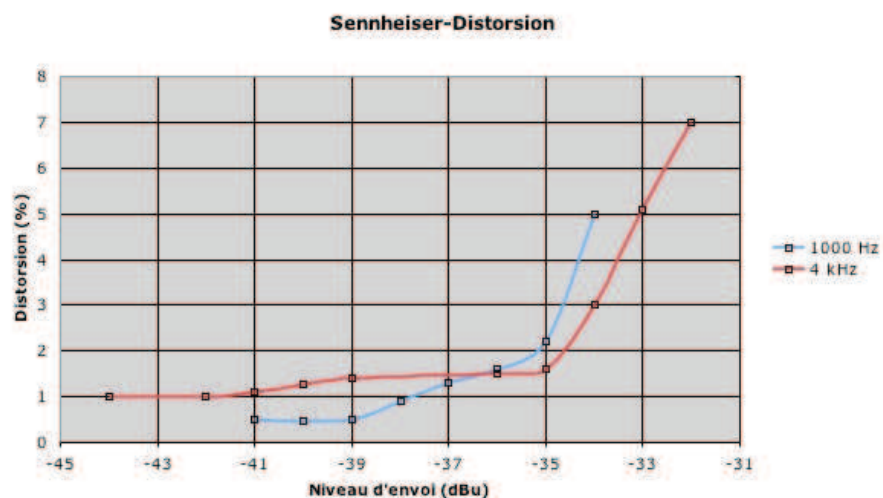


Figure II-10 – Courbes de distorsion pour l'appareil Sennheiser

4. Le rapport signal sur bruit

Le rapport signal sur bruit chiffre le rapport entre le signal utile et le bruit. Nous avons tenté de mesurer le rapport signal à bruit des trois appareils. La méthode utilisée est la suivante : nous envoyons un 1000 Hz à un niveau maximal avant limiteur, puis on coupe l'envoi et l'on mesure le niveau de bruit entre 20 et 20000Hz. Cette mesure s'est révélée être difficile à réaliser car elle est très sensible aux conditions d'expérimentation. En effet ces valeurs dépendent non seulement des ronflettes et autres perturbations, mais également du gain du préamplificateur (les mesures doivent être faites en gain minimal). Les mesures effectuées ne seront pas données car elles ne sont pas satisfaisantes et cohérentes, nous supposons que les précautions d'usage ne devaient pas être complètement respectées. Néanmoins, nous pouvons noter que les valeurs mesurées étaient toujours inférieures aux valeurs fournies par les constructeurs. Dans le cas des systèmes analogiques, même si nous avons trouvé les mêmes valeurs, ces mesures ne reflètent que la partie valorisante des systèmes de compression-expansion et ne sont pas représentatives du bruit global apporté par le système. La dynamique est en fait limitée de la façon suivante :

Pour les systèmes analogiques :

-La limite inférieure de la dynamique (le bruit) dépend du bruit de l'amplificateur d'entrée (selon les gains d'entrée) et des autres étages analogiques de la chaîne à quoi s'ajoute le bruit de fond du VCO (bruit du semi-conducteur ajouté au principe de la synthèse de fréquences).

- La limite supérieure de la dynamique (niveau max) dépend du limiteur d'entrée, de la tension d'alimentation et de l'excursion maximale.

Pour les systèmes numériques, la dynamique n'est limitée que par le bruit de fond du préamplificateur d'entrée et par l'algorithme de traitement.

Une des raisons des difficultés de ces mesures est que l'analyseur Neutrik est alimenté par le secteur (apparition de ronflette) et possède lui-même un bruit de fond propre qui se superpose à celui de l'appareil mesuré. Pour arriver à effectuer cette mesure dans de bonnes conditions, il aurait fallu intercaler un

amplificateur aux caractéristiques connues (gain important, bruit de fond et distorsion faibles, bande passante large) entre le récepteur et l'appareil de mesure. C'est ainsi que nous aurions sans doute pu retrouver les données fournies par les constructeurs. Dans les cas des systèmes analogiques, un des paramètres les plus contraignants est la dynamique propre de transmission HF, hors préamplificateurs, limiteur et compresseur. Pour effectuer la mesure, l'idéal serait de pouvoir bloquer le fonctionnement du compander, en maintenant artificiellement ses gains. Cette analyse n'a pu être effectuée pour des raisons de respect de matériel (prêt) et de temps.

5. *Portée*

Nous avons testé les portées pour les systèmes Audio Limited et Zaxcom. Ces mesures n'ont été faites que de manière qualitative, car la portée est difficile à évaluer en fonction des obstacles. Les deux émetteurs ont décroché quasiment au même moment (une différence de quelques secondes en faveur du Zaxcom). Le trajet parcouru représente une centaine de mètres avec des obstacles de type escalier en béton, portes en verre (trajet à l'école, du studio musique C24 au bout du parking de l'école).

6. *Caractéristiques du boîtier (taille poids antenne)*

Les caractéristiques pratiques de l'émetteur peuvent jouer un rôle important dans le choix du système. En effet, les comédiens sont souvent réticents à l'idée même de la prise de son au micro-cravate. Le fait de porter un micro en permanence et la pose du micro quotidiennement, ne convient déjà pas, dans un premier temps à tous les comédiens (on peut citer Gérard Depardieu pour qui, dans *Astérix, Mission Cléopâtre*, il a fallu faire coudre son micro dans son costume sans qu'il ne soit au courant). L'émetteur s'ajoute donc à ces inconvénients. Le confort des comédiens étant primordial sur les tournages, mieux vaut qu'il ne soit ni trop lourd, ni trop gros. Pour ces raisons-là, les ingénieurs du son utilisent souvent les émetteurs Sennheiser de type SK 5012 pour les comédiennes, car ils sont légers et de toutes petites tailles.

Ce que nous avons pu constater en manipulant les trois systèmes c'est que le boîtier de l'émetteur Zaxcom présente l'avantage d'être isolant par rapport à toute manipulation du boîtier et de l'antenne. Quant à l'humidité, la fermeture au niveau de l'emplacement des piles est très hermétique pour les boîtiers Sennheiser, qui sont tout en métal et aussi très isolants.

7. Comportement des limiteurs

À l'aide d'un analyseur Neutrik, nous avons pu étudier les comportements des limiteurs des trois systèmes. Nous avons envoyé des signaux sinusoïdaux à différents niveaux (environ de -60 dBu à -25 dBu) dans les émetteurs, et nous avons relevé les niveaux en sortie du récepteur. Nous avons constaté que les limiteurs des marques Audio Limited et Zaxcom se comportent de manière identique contrairement au limiteur Sennheiser. En effet, ce dernier n'agit pas de la même manière à toutes les fréquences. Plus les fréquences sont élevées, plus le limiteur Sennheiser se déclenche à un faible niveau. C'est-à-dire qu'il ne laisse pas passer de forts niveaux pour les hautes fréquences. Nous avons mesuré que pour un très fort signal d'envoi (-10 dBu), le limiteur agit dès 2500 Hz, en un filtre coupe haut assez raide. Le comportement du limiteur Sennheiser selon les fréquences est représenté dans la figure II-11. De plus, nous avons pu entendre que lorsque le limiteur se déclenche, le signal est très rapidement distordu.

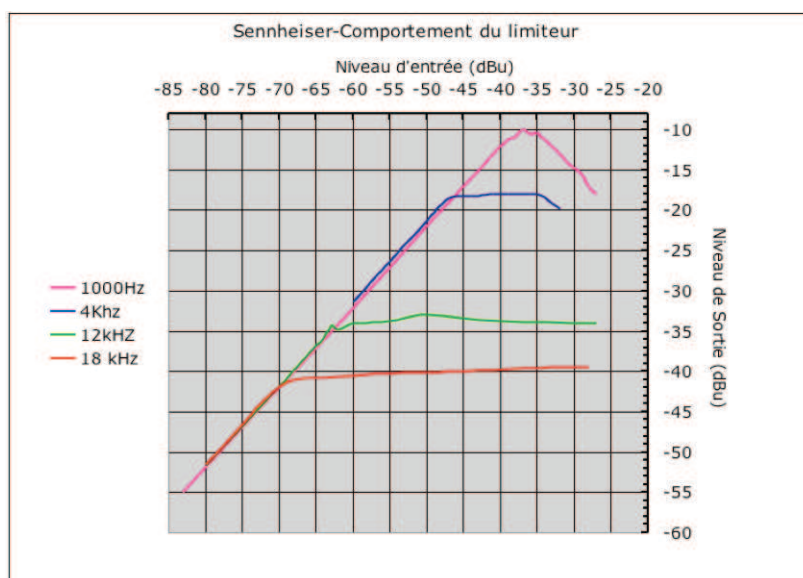


Figure II-11 – Comportement du limiteur de l'appareil Sennheiser

Contrairement à Sennheiser les limiteurs Audio Limited et Zaxcom ont un comportement équivalent quelle que soit la fréquence. Pour Audio Limited, par nos mesures, nous avons retrouvé les données fournies par le constructeur. Les mesures présentées ont été faites à des réglages de gain différents. Nous pouvons constater que plus le réglage du gain est important, plus le limiteur se déclenche rapidement. La limite de déclenchement du limiteur varie donc de -30 dBu pour un réglage du gain à 9, à 0 dBu pour un réglage à 0.

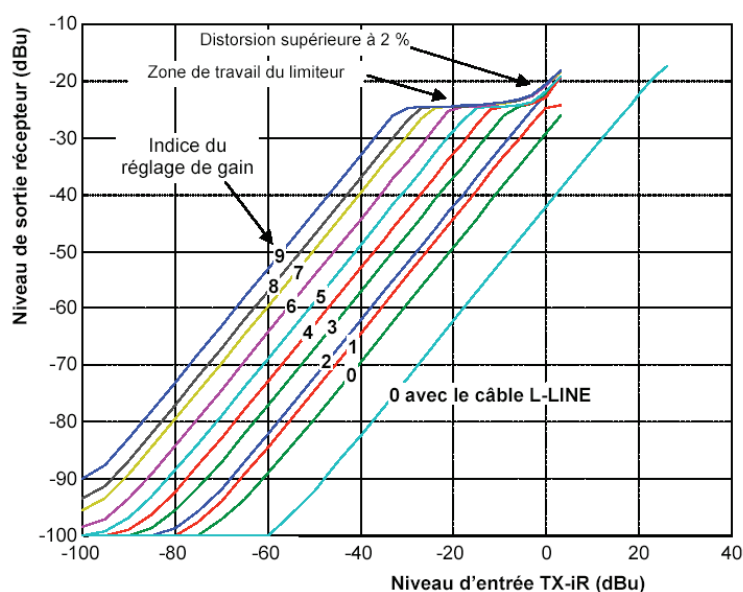


Figure II-12

*Caractéristiques d'entrée - sortie audio pour un couple émetteur - récepteur
(sortie récepteur niveau micro symétrique)*

Enfin, pour Zaxcom nous avons obtenu strictement les mêmes courbes à toutes les fréquences. Ce qui se révèle être surprenant c'est qu'à partir de -48 dBu de niveau en entrée, le niveau de sortie chute.

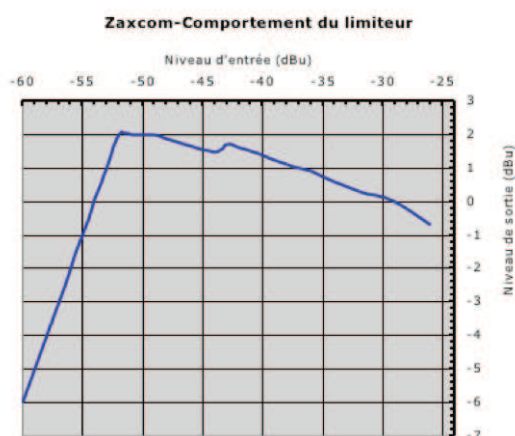


Figure II-13- Comportement du limiteur de l'appareil Zaxcom

8. Qualité des transitoires

Nous avons d'abord souhaité tester les systèmes dans des conditions extrêmes, c'est-à-dire en étudiant leur réponse à des signaux de laboratoire (de type bursts, clics...). Par ces analyses, nous avons pu découvrir le comportement de chacun des systèmes dans le cas d'attaques très raides.

Sur la figure II-11, il est présenté la réponse en fréquence des trois systèmes à des bursts de 400Hz, contenant deux alternances. Chaque burst étant suffisamment éloigné en temps pour que le compresseur ait le temps de revenir à son état initial.

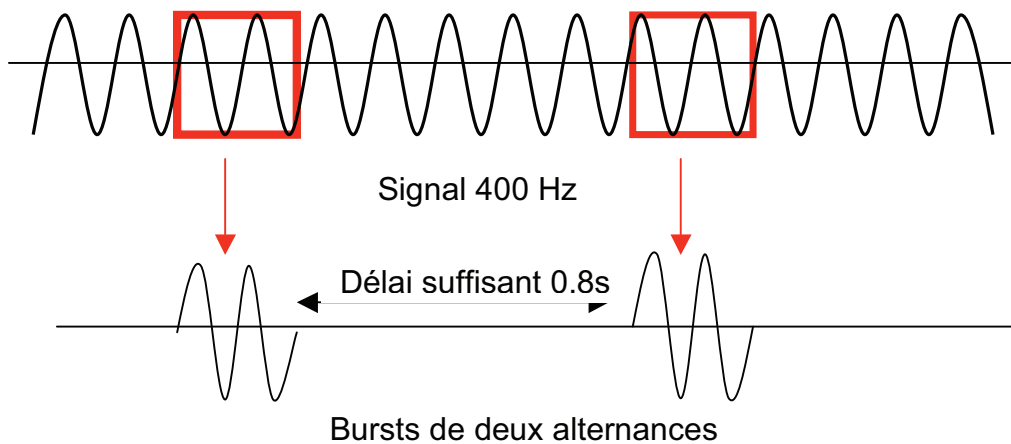


Schéma 1- Bursts 400Hz, ,deux alternances

En relevant les réponses des systèmes à ce type de signal, il apparaît des comportements bien différents. Le système doit en effet avoir une constante de temps assez rapide, pour lui permettre de capter l'intégralité de ces bursts. Le système Zaxcom réagit de manière surprenante, car il restitue le signal reçu très fidèlement (figure II-11 p61). Il apparaît donc que sa constante de temps est suffisamment petite pour restitue des attaques très soudaines et rapides. Ce qui n'est pas totalement le cas pour le système Audio Limited, qui n'a pas le temps de recevoir la totalité du signal envoyé, les formes globales (temporelles et spectre) sont abimées. Le compander de ce dernier est « surpris » de l'arrivée soudaine de ce signal et n'a pas le temps de réagir. La réponse du système Sennheiser ne conserve pas les formes, elles sont très abîmées et le niveau général est

atténuées. Cette analyse a pour application directe d'appréhender le comportement de ces systèmes pour la qualité et la précision de restitution des transitoires. Il est vrai qu'une constante idéale de temps permettrait une plus grande qualité en termes de précision et de netteté pour les attaques et les transitoires.

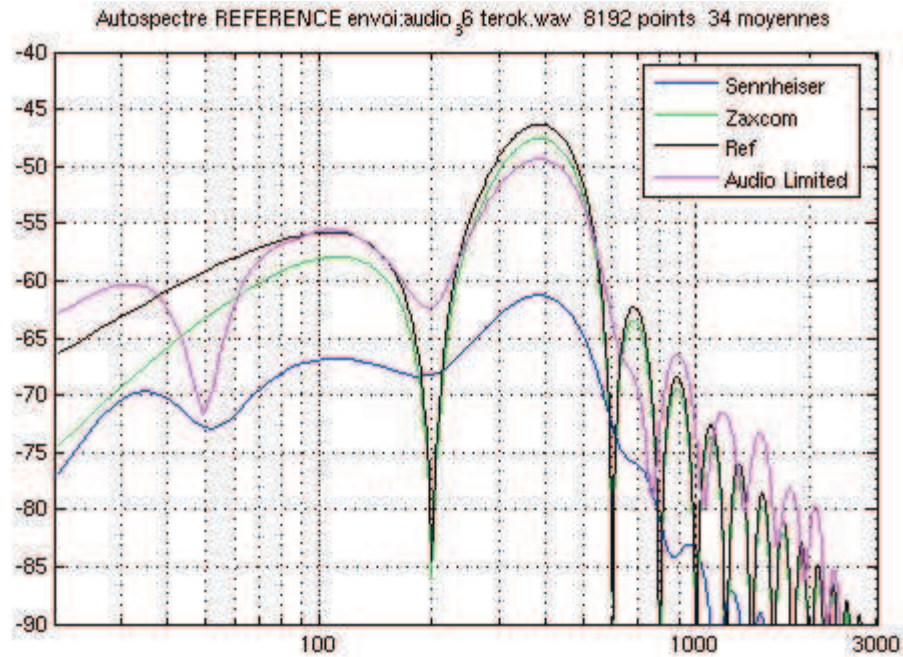


Figure II-14 – Bursts 400 Hz 2 alternances

De plus la « mollesse » et les annulations non respectées en particulier pour les systèmes Audio Limited et Sennheiser traduisent un manque total du respect de la phase.

Les réponses temporelles (figure II-4bis) expliquent les résultats obtenus dans la figure II-14. En effet on peut constater une certaine « traîne » oscillante des systèmes Audio Limited et Sennheiser (comportement typique du compander) qui explique l'invention de basses sur la figure II-14. On constate une perte importante de niveau pour le Sennheiser.

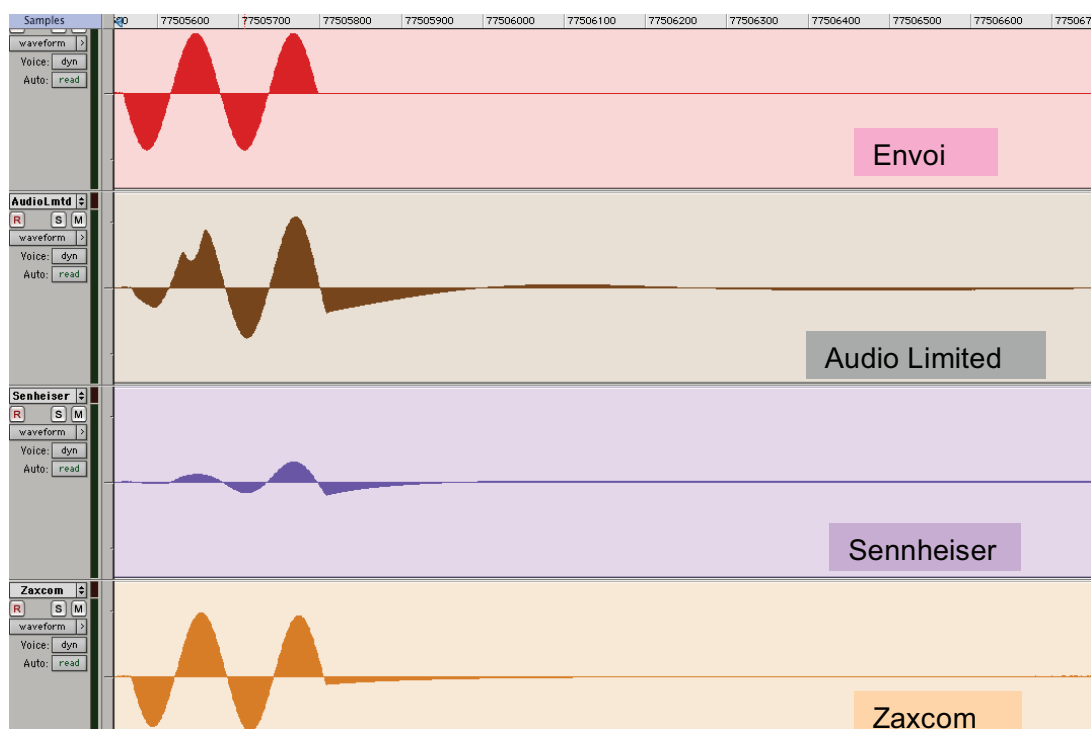


Figure II-14 bis – Bursts 2 alternances – réponses temporelles

Ces différences s'entendent sans équivoque sur des chocs de clés. En enregistrant simultanément une voix et des chocs de clés, on distingue très nettement les comportements des trois systèmes. Alors que voix est transmise de manière quasi-identique, le son des clés présentent d'importantes différences de précision très audibles. Dans notre partie expérimentale, 100 % des auditeurs perçoivent le système Zaxcom comme le plus fidèle, et le Sennheiser comme le plus éloigné du son clé d'origine.

Néanmoins, sur un signal plus habituel, de type voix, la différence de qualité des transitoires semblent être plus difficile à apprécier. Notre partie expérimentale montre en effet que sur onze personnes, huit préfèrent Zaxcom pour ce qui est du paramètre de la précision des transitoires mais aucunes tendances ne se dessinent pour les autres systèmes qui se retrouvent en 2eme et 3eme place. Or il s'avère que ce classement est difficile à réaliser, d'après les participants qui déclarent ne pas distinguer de différences flagrantes. Ces tests perceptifs étant réalisés sur des auditeurs experts, dans des conditions d'écoute privilégiées (studio musique de l'école) et sans images, on peut donc considérer que si la différence est difficile à préciser dans ces conditions, dans les conditions d'écoute du spectateur du cinéma, elle apparaît comme négligeable. Car dans ce cas, s'ajoutent l'environnement du spectateur (entouré d'autres spectateurs), le bruit

de fond de la salle, l'image qui occupe l'attention et enfin le traitement effectué lors du mixage, qui s'est chargé de lisser toutes les voix.

9. *Mise en cascade de plusieurs étages HF*

Plaçons nous dans le cas d'un documentaire. Plusieurs étages HF peuvent se succéder. Le premier étant du micro-cravate à la mixette, le deuxième de la mixette à la caméra, le troisième de la caméra à un car régie et le quatrième du car régie à la diffusion. Dans ces cas-là, nous nous sommes demandé quels paramètres du signal sont les plus touchés.

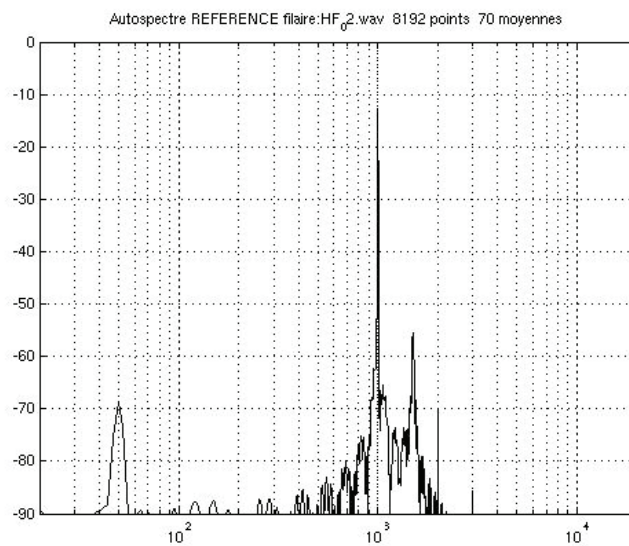


Figure II-15 - 1er étage HF

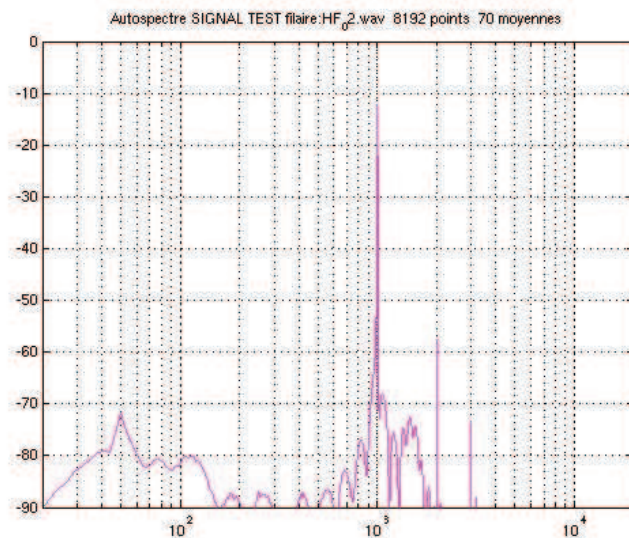


Figure II-16 - 4ème étage

Comme nous le supposions, les altérations subies par le signal sont accentuées. À l'écoute, on note une augmentation du bruit de fond que l'on a pu constater sur des courbes de réponse (+10dB de bruit dans les basses fréquences). De plus, on note une perte de précision de définition. En effet, la courbe de réponse correspondant au 4^{ème} étage HF est beaucoup plus « lisse » et moins précise. Ces enregistrements n'ont pas été proposés aux auditeurs pour les tests perceptifs, car nous avons estimé que l'intérêt de cette comparaison était moindre par rapport aux autres enregistrements testés.

10. Comparaison transmission filaire / HF par un KM 150

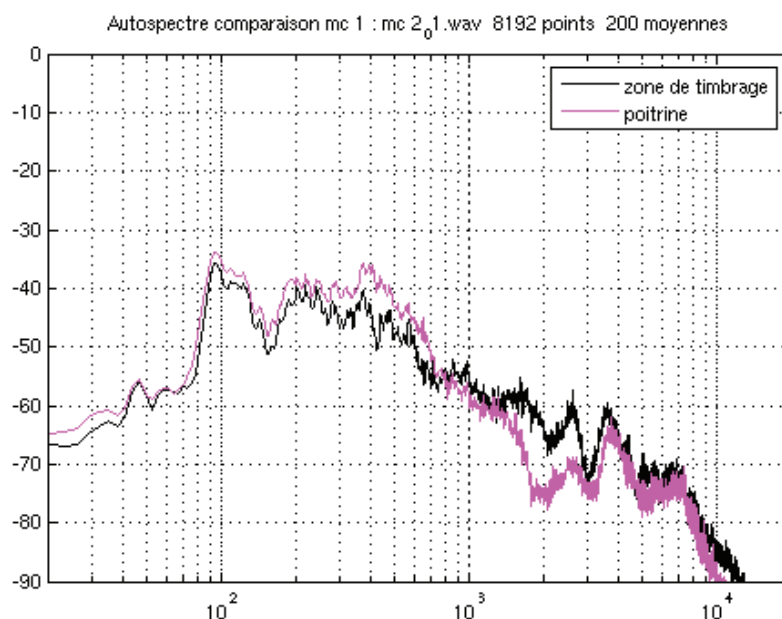
Nous avons effectué une série d'enregistrements simultanément en HF et en filaire avec des micros KM 150 (cf. Annexe p Compte rendu des premiers tests). Deux dispositifs ont été mis en place pour ces enregistrements. Un micro était installé à 60 cm d'un haut parleur qui diffusait tout type de signal, ce micro était enregistré et envoyé en HF sur une autre piste. La limite de ce dispositif est que le signal envoyé à l'émetteur HF est en niveau ligne (sortie console). Pour pouvoir vérifier le comportement de l'émetteur en entrée micro, nous avons installé un second KM 150, à côté du premier, directement transmis en HF. Les signaux enregistrés sont des signaux sinusoïdaux, des signaux carrés et des voix.

Les constatations faites à partir de ces enregistrements ont porté principalement sur le bruit de fond et la distorsion. En analysant les spectres comparativement des signaux sinusoïdaux captés en filaire et en HF, on constate un bruit de fond existant sur le micro HF dans les basses fréquences ainsi qu'un nombre plus important d'harmoniques. Nous avons déjà constaté ces modifications lors de nos précédentes analyses. Les enregistrements et les analyses effectuées ne nous ont pas permis de découvrir de nouveaux paramètres différenciateurs entre les deux modes de transmission autre que dans la comparaison des trois systèmes des trois marques.

III -Micros-cravates-Analyses

1. Positionnements zone de timbrage / poitrine

Nous avons procédé à l'enregistrement d'une voix d'homme et d'une voix de femme avec deux micros-cravates situés en plusieurs endroits sur le narrateur. Tout d'abord, nous avons placé le premier en zone de timbrage idéale (positionnement de la perche), et le second sur la poitrine du narrateur, au-dessus des vêtements. De la sorte, on évite la paramètre des caractéristiques mêmes du micro-cravate, et l'on détermine les influences propres de ce positionnement sur la poitrine, le plus souvent utilisé. Ainsi, et sans surprise, on note une bosse au niveau des bas médium et une atténuation dans les aigus.



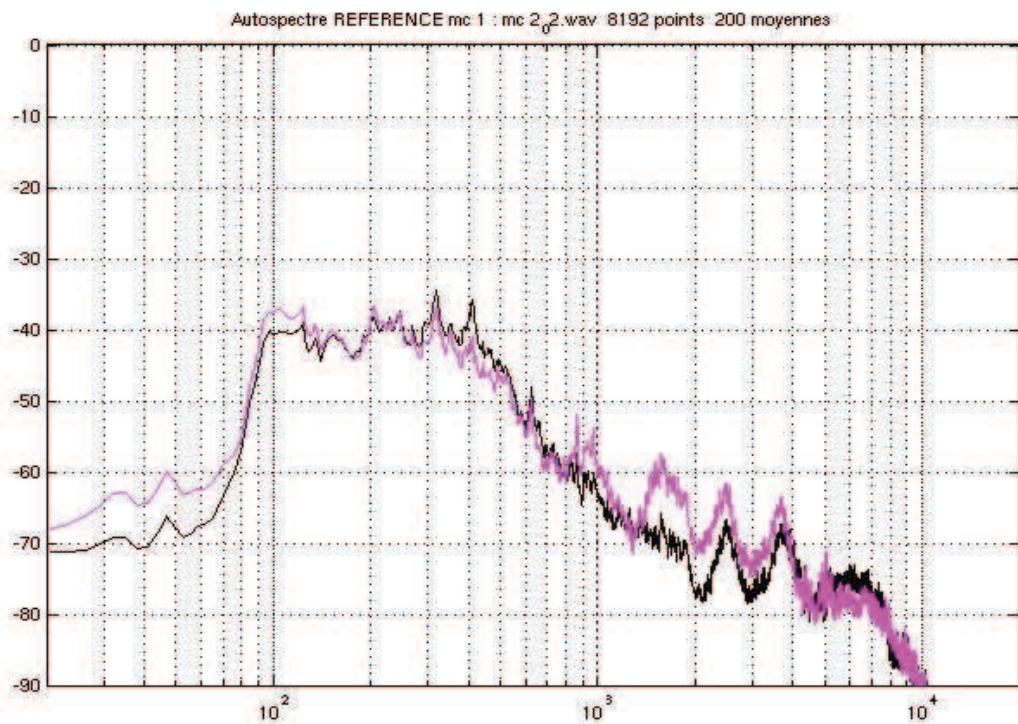
**Figure III-1 – Courbe de réponse de deux micros-cravates –
Zone de timbrage/ Poitrine – Voix Homme**

2. Positionnements poitrine / cheveux

Une deuxième expérience a consisté à comparer cette fois-ci un micro-cravate sur la poitrine et un autre placé dans les cheveux. L'expérience a été réalisée pour

une voix d'homme et pour une voix de femme. Les courbes suivantes ont été réalisées pour la voix d'homme (en noir : sur la poitrine, en violet : dans les cheveux).

La première constatation est que contrairement à ce à quoi l'on s'attendait, le micro-cravate situé sur la poitrine ne présente pas une accentuation des bas medium plus marquée que le micro-cravate situé dans les cheveux. La différence se trouve dans les haut mediums. En effet, le micro-cravate dans les cheveux présente jusqu'à une dizaine de dB d'accentuation dans les fréquences de 1500Hz environ à 4000Hz. Cette zone accentuée, correspond à la zone centrale du spectre d'une voix, et joue sur la clarté et le timbre. On peut supposer que le micro-cravate situé dans les cheveux peut donc restituer un timbre plus appréciable. Nous vérifierons cette hypothèse dans la partie expérimentale.



**Figure III-2 - Courbe de réponse de deux micros-cravates –
Cheveux/ Poitrine – Voix Homme**

3. *Positionnements sous/sur vêtements*

Nous avons positionné deux micros-cravates sur un narrateur, l'un sous son vêtement, l'autre sur le vêtement mais très proche du premier. Nous nous sommes demandé, pour un cas de costume simple, quelle est l'importance du filtrage d'un tissu fait de coton. Nous avons procédé à l'enregistrement d'une voix de femme et d'une voix d'homme. Les différences des spectres respectifs des micros se concentrent dans les aigus, à partir de 4kHz environ.

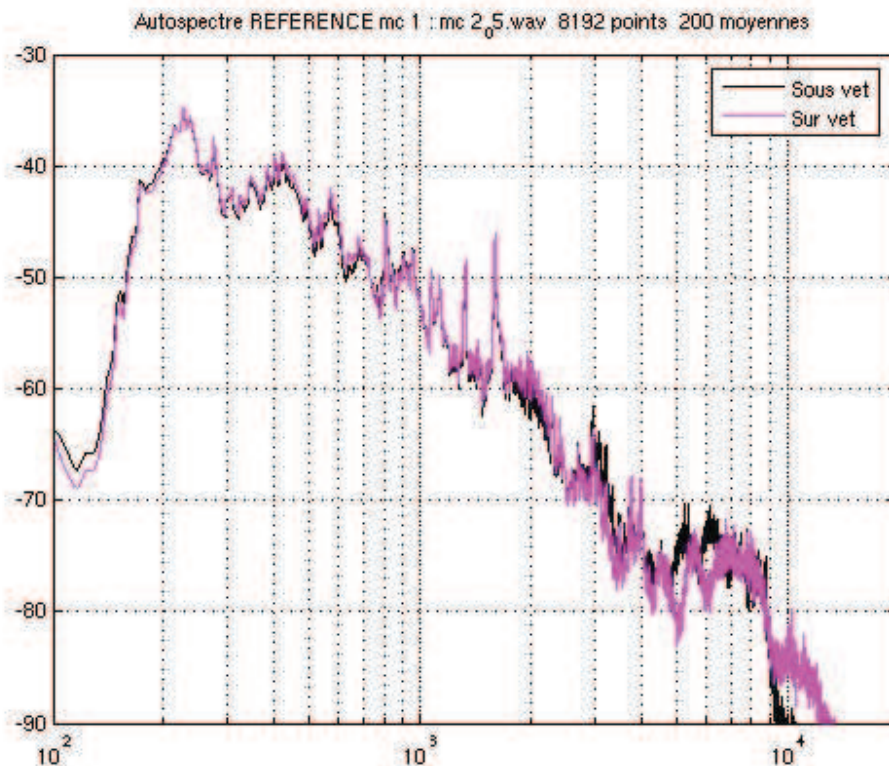


Figure III-3 – Sous/Sur vêtements- Voix Femme

Il est difficile d'estimer à la vue de cette courbe si les différences sont vraiment perceptibles ou pas. C'est pourquoi nous avons soumis ces enregistrements aux tests perceptifs de la partie expérimentale. Nous analyserons donc plus loin ces résultats en regard des avis des auditeurs.

4. Différentes positions sur la poitrine

Pour satisfaire une curiosité nous avons placé deux micros-cravates sur le torse d'un narrateur à une quinzaine de centimètres l'un de l'autre (en hauteur). Et par la méthode que précédemment, nous avons relevé les courbes de réponses en fréquence des deux micros.

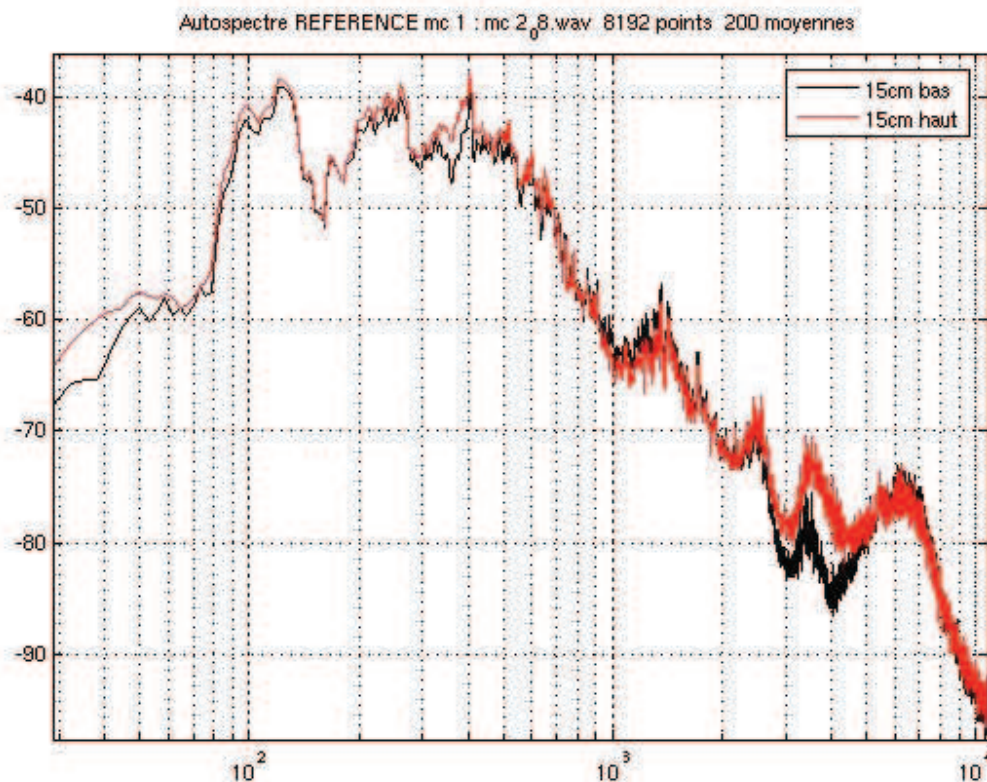


Figure III-4 – Deux positions sur la poitrine – voix H

Nous pouvons constater une différence spectrale d'environ 5 dB qui se situe dans les aigus (de 3 à 5 kHz). Encore une fois il est difficile à cette étape de déterminer quel peut être l'influence de ces différences spectrales sur la préférence des auditeurs. Ces enregistrements ont été soumis aux notes des auditeurs dans la partie expérimentale.

CONCLUSION DE LA PARTIE PRATIQUE :

L'analyse des différents comportements des trois marques étudiées nous a permis de découvrir les phénomènes ajoutés au signal propres à la transmission HF. L'étude de ces systèmes nous a montré qu'en plus d'une différence entre transmission HF et transmission filaire, une grande différence existe entre les trois systèmes Audio Limited, Sennheiser et Zaxcom. C'est pourquoi nos analyses se sont basées sur la comparaison des trois marques et de la transmission filaire.

La seconde série d'analyse a permis de déterminer les différences théoriques entre les différents positionnements possibles des micros-cravates. Cette analyse s'est avérée être difficilement généralisable et a eu comme objectif de relever des tendances.

Si on parle d'application à la prise de son cinéma, ces analyses techniques ne peuvent être présentées toutes seules, sans être mises en corrélation avec les différences audibles. Aussi, afin de valider l'aspect pratique de ces analyses, nous allons effectuer des tests sur des auditeurs et peut-être conclure sur les différences audibles entre prise de son HF et prise de son filaire .

C-Partie Expérimentale

INTRODUCTION

L'objectif de cette dernière partie est de réussir à déterminer si les altérations du signal dû à la transmission HF, étudiées dans la précédente partie, se révèlent audibles dans des conditions d'écoute quasi-optimale et dans quelles mesures elles perturbent l'auditeur, toujours par rapport à une transmission filaire.

De la sorte, les tests réalisés nous permettront de valider ou non notre hypothèse selon laquelle la prise de son par la technique des hautes fréquences est de qualité équivalente à une prise de son traditionnelle pour une application cinéma.

Ces tests nous ont semblé inévitables, car nous avons pensé qu'il était nécessaire de mettre en corrélation directe les analyses effectuées avec l'application pratique. Cette partie sert en effet de validation aux analyses, qui isolées sont difficiles à interpréter et à mettre en relation avec l'aspect pratique immédiat de la prise de son cinéma.

I - Présentation du test

1. *Démarche*

L'objectif premier de ce test était de mettre en corrélation les paramètres étudiés dans la partie pratique avec leur caractère audible. Pour cela nous avons choisi de placer des auditeurs experts dans des conditions d'écoute optimales.

Les tests ont été réalisés sur onze auditeurs experts, individuellement, au studio musique C24 de l'école. Les auditeurs étaient placés idéalement face aux enceintes Tannoy. Les questions étaient posées sous forme de notes à donner de 0 à 9 pour les paramètres suivants : l'équilibre spectral, la dynamique et la qualité des transitoires. Pour chaque question, les réponses se basaient sur une comparaison, car les extraits étaient toujours présentés par deux, par trois, ou par quatre. Les auditeurs étaient invités à donner une note par paramètre pour chaque extrait sur une échelle de 0 à 9 (0 correspondant à une mauvaise appréciation, 9 à une excellente) et à rajouter dans les commentaires, tout autre élément de

distinction entre les sons proposés.

Deux questions préliminaires étaient posées en début du test concernant l'expérience de l'interrogé quant à la prise de son HF. Les réponses à cette question n'ont pas été utilisées, et n'ont pas été mises en corrélation avec les autres réponses du test car la plupart des auditeurs n'avaient jamais pratiqué la prise de son HF. L'objectif de cette question était de déterminer s'il y avait des « profils » de réponses, correspondant à l'expérience de la personne. Cette question n'a donc pas d'intérêt finalement pour nos résultats.

La première et la troisième partie des questions reposaient sur la transmission uniquement, et sur la comparaison des trois systèmes de marques différentes avec la transmission filaire. Pour ces questions, les extraits proposés étaient principalement des voix. Ces voix avaient été enregistrées de façon optimale puis transmises par voie filaire et par voie HF simultanément. Les questions étaient posées de deux manières ; soit l'auditeur était invité à comparer trois extraits (qui étaient les enregistrements par les trois systèmes HF) à un premier dit de référence et qui correspondait à la transmission filaire, soit l'auditeur devait noter les quatre extraits. Les paramètres étudiés, selon les extraits, étaient l'équilibre spectral, la dynamique, la précision des transitoires et toujours la préférence globale. Les personnes interrogées étaient invitées à faire part de toutes les remarques qui leur venaient à l'esprit. Le choix de ne pas faire noter la distorsion et le bruit de fond a été fait de manière à ne pas proposer aux auditeurs de notation pour des paramètres « négatifs ». Nous avons voulu orienter l'écoute des auditeurs vers des paramètres habituels et constater si dans ces études-là et dans leur préférence globale, ils faisaient une remarque sur une gêne due à la distorsion ou au bruit. En effet, nous souhaitons déterminer si en analysant les paramètres habituels des signaux, ils seraient gênés par les altérations due à la transmission HF. En effet, dans la partie pratique nous avons pu constater que le système numérique ne présentait des taux de distorsion très faibles et ajoutait peu de bruit, nous avons donc choisi de ne pas pointer ces paramètres et de ne pas trop orienter l'auditeur dans le but de recueillir les préférences sur les paramètres habituels. Nous verrons que ce choix a limité nos résultats et ne nous a pas permis de déterminer l'importance du caractère audible de la distorsion et du bruit de fond.

La deuxième partie du test était constituée de questions relatives à des enregistrements faits avec des micros-cravates en divers positionnements sur un narrateur et une narratrice. Les questions posées portent sur l'équilibre spectral (la coloration) et la préférence. Nous avons choisi d'intercaler cette partie posant sur les micros-cravates entre deux parties sur la transmission pour des raisons de fatigue des auditeurs. En effet, les questions concernant le positionnement des auditeurs sont moins fatigantes car les différences entendues sont bien plus marquées que pour les questions sur la transmission et la comparaison des trois marques et de la voie filaire. En les intercalant ainsi, l'auditeur est moins lassé puisque les questions varient, et il reprend confiance.

Pour ces questions, nous avons choisi de faire comparer, deux par deux, l'équilibre spectral des micros proposés et nous avons recueilli les préférences. La limite de ces questions étaient que la prise de son aux micros-cravates n'a pas plu aux auditeurs pour des raisons évidentes (micro, positionnement) et les résultats de ces votes n'ont pu être exploité que par comparaison.

2. Description

Pour la première question portant sur la transmission (II-1), trois extraits sont à comparer à une référence. Les trois extraits correspondent à l'enregistrement d'une voix d'homme en studio, transmis par les trois systèmes des trois marques. La référence correspond à la transmission filaire. Les paramètres à noter sont la ressemblance spectrale, la dynamique et la préférence.

La deuxième question (II-2) propose quatre extraits. Il s'agit d'enregistrements de bruits de chocs de clés derrière une voix. Le paramètre étudié est la précision des clés uniquement, pour les quatre extraits.

La partie suivante porte sur les micros-cravates. Successivement sont proposés des enregistrements de voix d'homme et de femme captés par des micros-cravates positionnés à divers endroits. Les paramètres étudiés sont l'équilibre spectral et la préférence. Les extraits sont à comparer par deux. Les positionnements des micros-cravates sont les suivants : zone de timbrage et poitrine, cheveux et poitrine, sous et sur vêtements, et en variant la hauteur sur la

poitrine.

Une seconde partie concernant la transmission finit le test. La première question propose trois extraits d'une voix de femme. Les enregistrements ont été faits par les trois systèmes HF dans des conditions limites, c'est-à-dire dans les zones d'action des limiteurs. Le but étant de déterminer l'importance de l'altération des sifflantes dans le cas où le limiteur se déclenche.

La deuxième question demande aux auditeurs de classer quatre enregistrements d'une voix de femme par ordre de préférence suivant les paramètres étudiés. Il s'agit toujours d'enregistrements par voie filaire et par voie HF (par les trois systèmes). Les paramètres étudiés restent les mêmes : équilibre spectral, précision des transitoires et préférence globale.

Enfin, la dernière question propose quatre enregistrements d'un narrateur se trouvant dans l'espace stéréo et agitant des clés. Il est demandé aux auditeurs d'indiquer la position du narrateur dans l'espace et de noter la précision de latéralisation.

II - Analyse comparative des trois systèmes

1. Étude de la transmission uniquement

La question I-1 repose sur la comparaison de trois extraits avec un premier appelé « la référence ». Les auditeurs doivent noter (échelle de 0 à 9) chacun des trois extraits, en comparaison avec la référence, sur deux paramètres : l'équilibre spectral (et la coloration s'il y en a) et la dynamique. Enfin, ils doivent donner leur préférence globale. Les auditeurs sont invités à donner leurs commentaires supplémentaires systématiquement. La référence est une voix d'homme enregistré en condition idéale de prise de son (dans un studio), en prise de son de proximité avec un microphone Neumann Cardioïde en transmission filaire. Chacun des trois extraits analysés correspond à cette référence transmise par les trois marques de systèmes HF : Audio Limited, Sennheiser et Zaxcom.

Tout d'abord, s'agissant du paramètre de ressemblance spectrale à la référence, une tendance se dégage des résultats. Pour Audio Limited, 10 votes

sur 11 se répartissent de 5 à 8, avec une majorité de votes entre 7 et 8 (63% des votes). Pour Sennheiser, les votes se répartissent entre 3 et 6 mais la distribution ne répond pas à une loi (telle que la loi normale), on ne peut pas vraiment dégager de tendance. Par contre, en ce qui concerne Zaxcom, toutes les réponses se situent entre 5 et 9 avec une majorité des votes compris entre 8 et 9 (63% des votes). Les auditeurs ont donc trouvé une grande ressemblance spectrale par rapport à la référence pour les appareils Audio Limited et pour Zaxcom mais pas le système Sennheiser. Ajoutons que pour ce dernier la plupart des auditeurs a fait une remarque sur une distorsion trop présente et sur l'importance du bruit de fond.

De plus, 72% des votants, donnent la meilleure note à Zaxcom et 72% donnent une meilleure note à Audio Limited qu'à Sennheiser. On peut donc conclure, pour ce paramètre, une tendance qui tendrait à affirmer que Zaxcom est le plus fidèle spectralement à la référence. Cela peut paraître surprenant à la suite des résultats de la partie pratique qui montrait que le spectre de Zaxcom se limitait à 16kHz. Mais ce qui pourrait expliquer ce résultat, c'est les fréquences au-dessus de 16kHz ne joue pas pour l'équilibre d'une voix d'homme (ce qui en soit n'est pas vraiment étonnant), et nous supposons que peut-être qu'un autre paramètre pourrait influencer sur le choix des notes (par exemple, s'ils le préfèrent globalement).

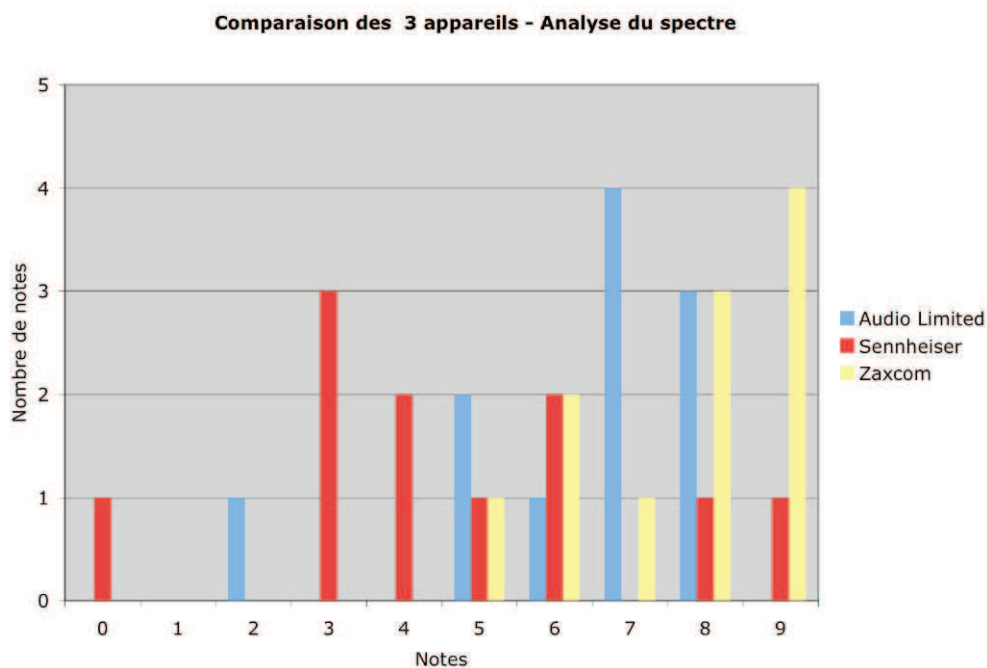


Figure II-1

On peut ajouter que des commentaires ont été faits pour la coloration. Un bruit de fond est détecté par 3 auditeurs pour Audio Limited ainsi qu'une coloration médium (6 votes). De la distorsion et de l'altération des aigus est relevé pour Sennheiser (4 votes). Très peu de remarques sont faites concernant Zaxcom.

Pour le paramètre de la dynamique, la tendance des notes de la ressemblance spectrale se retrouve. Les notes de Zaxcom se concentrent de 3 à 9, avec une nette majorité de 5 (qui correspond dans les données du test à « dynamique égale à celle de la référence»). Pour l'Audio Limited, les notes se répartissent de 2 à 7, avec une moyenne de 4 à 6. Enfin les notes de Sennheiser se répartissent de 1 à 5. De ces notes données, on peut conclure qu'une fois encore Zaxcom et Audio Limited obtiennent la majorité des meilleures notes.

Enfin, nous avons demandé aux auditeurs de classer ces trois extraits par ordre de préférence. Là encore, une tendance nette se dégage, en accord avec les résultats obtenus précédemment. En effet, Zaxcom obtient à 73% la première place, Audio Limited obtient la deuxième place à 64% , enfin Sennheiser arrive en troisième place à 90% . Ce classement est cohérent avec résultats évoqués plus haut. Les commentaires à propos de la distorsion et du bruit de fond récurrents pour l'appareil Sennheiser laissent à penser que ce sont ces paramètres qui ont joué pour le classement.

2. Qualité des sifflantes dans la zone d'action du limiteur

Nous avons étudié les limiteurs des trois systèmes dans la partie pratique et nous avons pu constater qu'ils possédaient chacun un comportement propre. Nous avons voulu déterminer si ces différences de comportement pouvaient se révéler audibles en particulier par l'étude d'un paramètre. Nous avons orienté cette étude vers les qualités des sifflantes, révélatrices de problèmes de distorsion. Nous avons proposé aux auditeurs trois versions d'un enregistrement d'une voix de femme. Chacun des trois extraits proposés correspond à un enregistrement réalisé par l'un des trois systèmes. Le niveau d'envoi a été déterminé de façon à ce que les limiteurs des émetteurs se déclenchent. Le signal obtenu est donc altéré. Le but de cette démarche est de déterminer dans quelles proportions la qualité des sifflantes peut être altérée dans la zone de

fonctionnement de chacun des trois appareils. Nous n'avons pu interroger que six auditeurs, et sur ces six personnes, quatre ont donné la meilleure note pour l'appareil Zaxcom, les deux autres ont donné la meilleur note à égalité pour les appareils Audio Limited et Zaxcom. Pour la totalité des personnes interrogées le système Sennheiser obtient la moins bonne note. Nous pouvons conclure que dans le cas de déclenchement du limiteur, un paramètre représentatif de la distorsion tel que la qualité des sifflantes est préservé dans le cas du systèmes numérique. On peut conclure à une « marge » supplémentaire offerte par le limiteur dans les cas de ce dernier. Dans les cas de l'appareil Sennheiser, le résultat n'est pas étonnant car nous avons vu que le limiteur agit très rapidement sans les fréquences élevées (cas des sifflantes) et distord à l'oreille très rapidement aussi.

3. *Transmission associée à un micro-cravate Sanken*

Une autre question repose sur la même méthode (IV/1). Les auditeurs étaient invités à classer par ordre de préférence quatre extraits pour trois paramètres (l'équilibre spectral, la précision des transitoires et la préférence globale). L'enregistrement de base de ces extraits était une voix de femme captée par un micro-cravate Sanken. Le premier extrait était l'enregistrement filaire, les trois autres étaient les enregistrements transmis toujours par les trois marques Audio Limited, Sennheiser et Zaxcom.

Le classement pour l'équilibre spectral révèle une tendance nette en faveur de Zaxcom. En effet, ce dernier arrive en première place à 63% et n'obtient qu'un seul vote pour la dernière place. La surprise est que l'enregistrement filaire ne présente pas de tendance dans les votes, il s'étale de manière homogène sur toutes les places, de même pour Audio Limited. Sennheiser est placé en deuxième place à 63%, mais n'est placé en première place qu'une seule fois. Ces résultats montrent une préférence pour Zaxcom, mais on ne peut pas conclure pour les autres extraits car les réponses s'étaient trop homogènement. On peut déduire que les différences liées à l'équilibre spectral ne sont pas déterminantes.

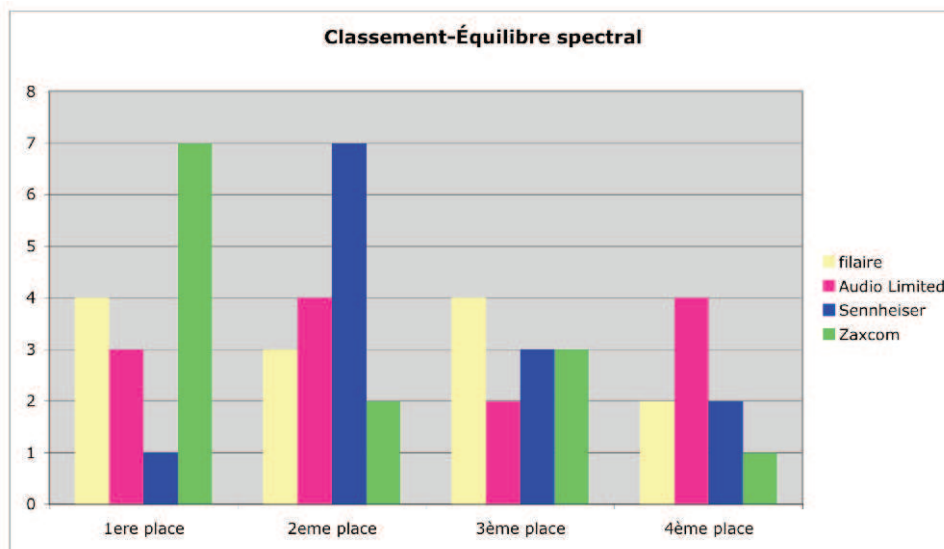


Figure II-2

Le deuxième classement portait sur le paramètre de la précision des transitoires (fig.II-3 p 77). Les résultats de l'équilibre spectral se retrouvent nettement. C'est-à-dire, pour les extraits « filaire » et Audio Limited, aucune tendance ne se dessine. Pour Sennheiser, 70% des votes place l'extrait en troisième et quatrième place. Enfin, Zaxcom obtient encore une fois la faveur des votes puisqu'il se retrouve en première place à 70%. Ces résultats nous mènent donc aux mêmes conclusions que précédemment, à savoir que la tendance place Zaxcom nettement en tête, Sennheiser plutôt en dernières places mais les votes ne déterminent pas de tendances entre filaire et Audio Limited.

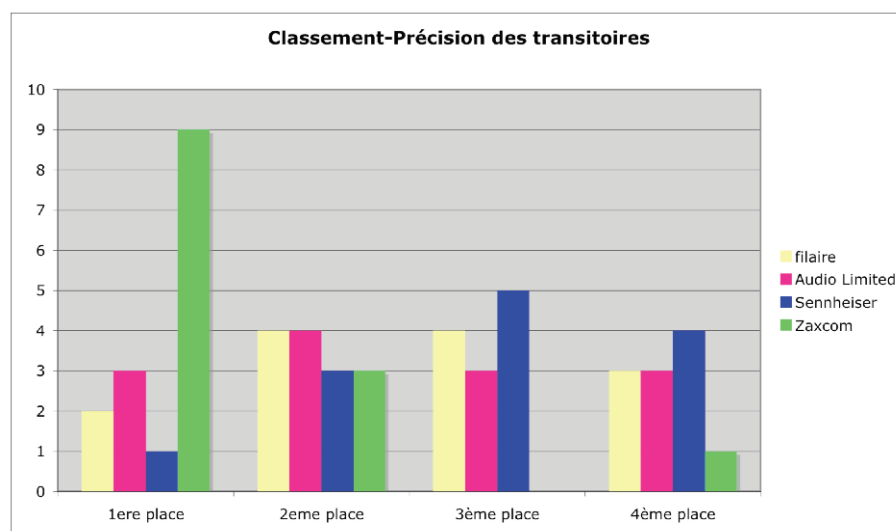


Figure II-3

Le troisième paramètre étudié est la préférence globale. Elle est évidemment corrélée avec le classement des paramètres précédents. Sans surprise donc Zaxcom est placé en première place à 60%, et n'est jamais placé en dernière position. Sennheiser se retrouve à 60% en deuxième place mais n'obtient aucun vote pour la première place. Audio Limited et filaire présentent tous deux encore une fois des distributions qui ne permettent pas de conclure à une tendance.

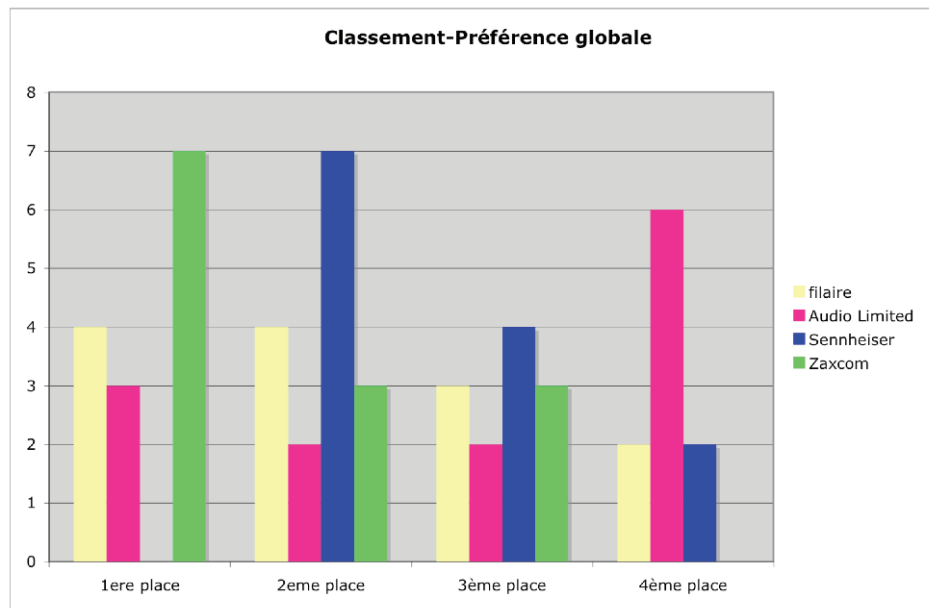


Figure II-4

Enfin, nous avons établi le nombre de votes totaux comprenant les trois paramètres pour chaque extrait.

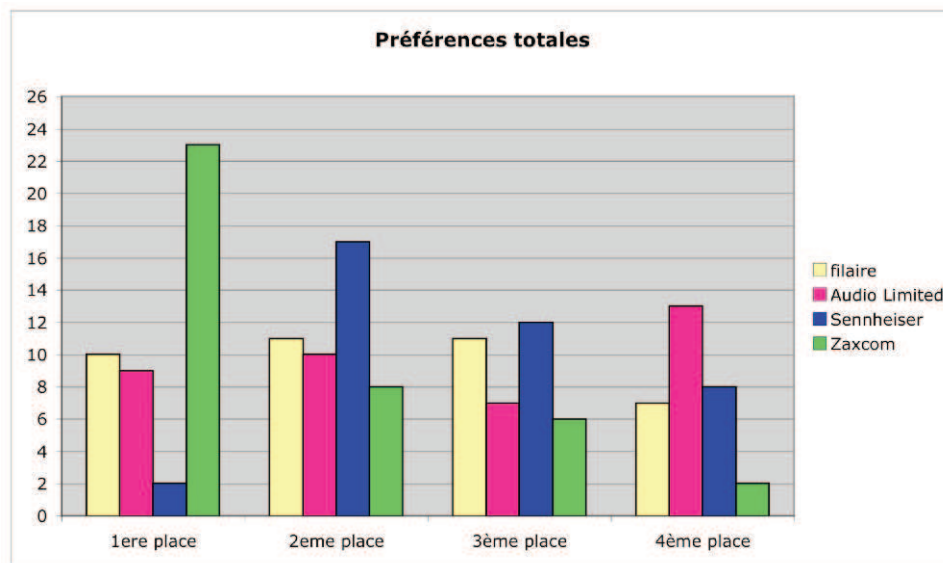


Figure II-5

Les résultats montrent nettement la préférence pour Zaxcom, par contre, on peut considérer que les différences pour les trois autres extraits ont été difficiles à évaluer par les auditeurs.

Cette préférence définitive pour Zaxcom, devant une transmission filaire est très surprenante. En effet, nous avons vu tout au long de ce mémoire les altérations que subit le signal lors de la transmission et ces tests nous poussent à conclure qu'une grande majorité d'auditeurs préfèrent une transmission par un appareil numérique de marque Zaxcom à une transmission par voie filaire. Nous avons donc supposé que peut-être la raison de cette préférence serait liée au spectre. En effet, la bande passante de ce dernier monte moins haut dans les aigus que tous les autres puisque la bande passante s'étend de 20hz à 16kHz. Nous avons donc supposé que cette coupure à 16kHz adoucissait le signal, et le rendrait peut-être moins agressif et plus équilibré dans le cas d'une voix.

4. *Comparaison micro-cravate sous et sur vêtements*

Afin de déterminer si les influences du placement d'un micro-cravate sont suffisamment importantes pour être audibles, nous avons effectué le test sur les auditeurs, pour une voix de femme et pour une voix d'homme.

Étudions dans un premier temps la voix d'homme. Pour le paramètre de l'équilibre spectral, les notes se répartissent de 2 à 8 pour le micro sous les vêtements et de 2 à 6 pour le micro sur les vêtements. Pour les deux, 73% des notes obtenues se situent entre 2 et 4, leurs moyennes sont proches (3,7 et 3,5), et d'après leur distribution respective, on ne peut pas conclure à une préférence.

De plus on relève que seulement 6 personnes sur 11 donnent une meilleure note au micro situé sur les vêtements. Aucune tendance ne se détermine, et de plus les deux écarts type sont assez petits (1,61 pour le micro sous, 1,29 pour l'autre), on peut donc supposer que les différences entendues sont très faibles.

Pour le second paramètre, la précision (netteté), les différences n'ont pas été, de même, relevées. En effet, les notes se répartissent dans les deux cas de 2 à 7, avec une majorité de notes contenues dans l'intervalle [2,4]. Les moyennes obtenues sont de 4,09 pour le micro sous les vêtements et de 4 pour l'autre. De plus on relève encore une fois que seules 6 personnes ont donné une meilleure note au micro sur les vêtements. On ne peut donc conclure à aucune tendance non plus, et nous supposons que les différences entre les deux micros ne sont pas importantes et peuvent être considérées comme négligeables. En effet, les moyennes sont très proches, les écarts type peu élevés et l'échantillon se divise en deux groupes de préférence, chacun en faveur d'un micro.

Enfin, et pour confirmer le test, nous avons demandé à chacun de donner sa préférence. En accord avec les deux paramètres étudiés, aucune préférence ne s'est confirmée puisque 6 personnes des 11 interrogées ont préférés le micro-cravate situé sur les vêtements.

De la même manière, les auditeurs ont noté les mêmes paramètres pour une voix de femme. Les résultats trouvés pour la voix d'homme ne se retrouvent pas.

Pour le premier paramètre étudié, l'équilibre spectral, les notes concernant le premier micro (situé sous les vêtements) se répartissent de 1 à 5, avec une nette majorité pour les notes 3 et 4 (73% des votes). Pour ce qui est du second micro, les notes s'étalent de manière plus homogène de 3 à 7. La moyenne du premier se situe à 3 alors que le second obtient une moyenne de 4,8. De plus 9 personnes sur 11 donnent une meilleure note au second micro situé sur les vêtements, et les deux autres donnent la même note aux deux micros.

Une véritable préférence pour l'équilibre spectral du micro sur les vêtements ressort donc nettement de ce test.

Le second paramètre étudié est la précision. Pour le premier micro, les notes se situent de 2 à 6 (81% entre 2 et 4) et pour le second de 3 à 8 (81% entre 4 et 7). Les formes des distributions (répondant à la loi normale) nous permettent de comparer les deux moyennes, la première est de 3,2 et la seconde est de 5,4. De plus, et de la même manière que pour le paramètre de l'équilibre spectral, 9 personnes ont donné une meilleure note au second micro et les deux autres ont donné une note identique pour les deux. Ces résultats nous permettent cette fois-ci

encore de pouvoir conclure qu'une différence est entendue et que la préférence des auditeurs pour ce paramètre se tourne à nouveau vers le second micro qui est placé sur les vêtements.

Enfin, à la question de préférence, les résultats obtenus précédemment se confirment. En effet, 10 personnes sur 11 préfèrent le micro situé sur les vêtements et une personne ne se prononce pour aucun des deux.

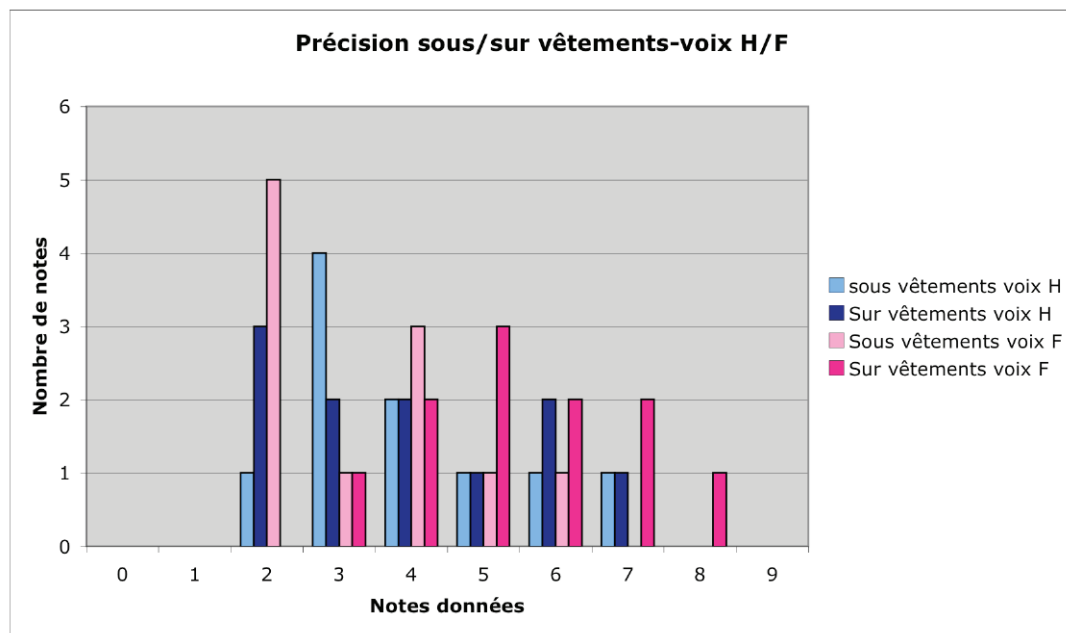


Figure II-6

Les résultats précédents nous conduisent à certaines conclusions. Dans des conditions identiques, la différence de restitution du timbre de la voix entre une captation par un micro-cravate situé sous ou sur les vêtements ne se perçoit pas de la même manière pour une voix de femme et pour une voix d'homme. En effet une préférence se distingue pour la voix de femme captée par le micro-cravate situé sur les vêtements, mais la différence semble être minime pour la voix d'homme dont les deux captations des deux micro-cravate sont autant appréciés. Ces conclusions sont explicables par l'effet de filtre que peuvent provoquer les vêtements. Cela dépend bien évidemment de la matière du tissu. Dans notre cas le vêtement en question était en coton, et d'après les courbes de spectre obtenues, on a pu noter une différence de restitution du spectre.

En analysant les courbes obtenus, pour la voix d'homme tout d'abord, on constate une baisse de 10dB vers 3800Hz pour le micro sur les vêtements. Par contre, ce dernier présente jusqu'à 5 dB de plus de 4800Hz à 8000 Hz. Nous pouvons supposer que ces différences, pourtant importantes, ne se sont pas révélées audibles pour les auditeurs interrogés car les formants principaux de la voix d'homme se situent dans les fréquences inférieures à celles présentées. Or, pour les fréquences principales présentes dans le spectre d'une voix d'homme, les courbes de réponses des deux micros-cravates sont strictement identiques, c'est pourquoi nous avons choisi de ne pas les représenter sur la figure II-7.

La figure suivante représente la partie du spectre où les deux courbes de réponses se distinguent nettement.

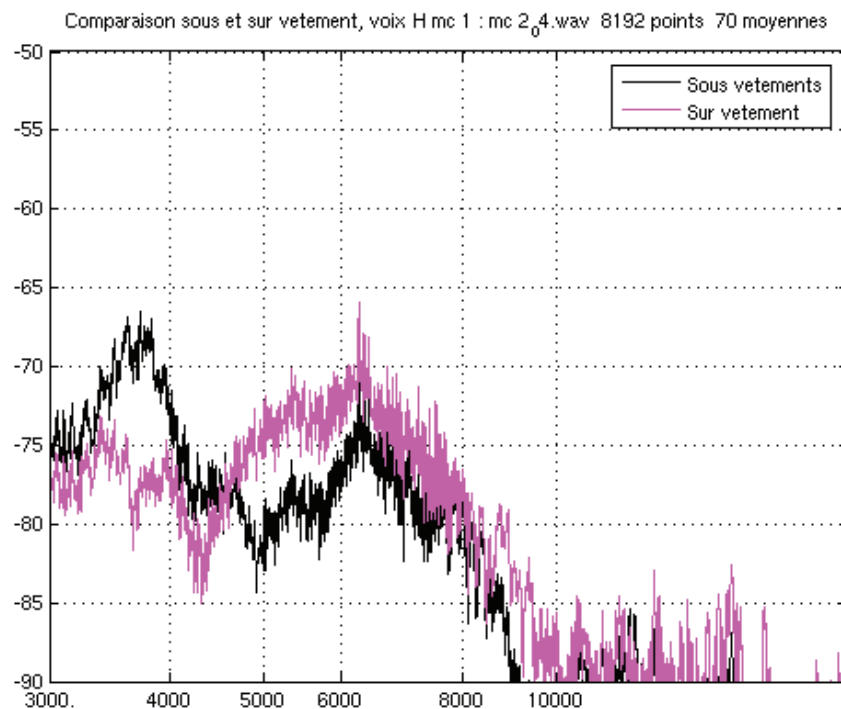


Figure II-7 - Spectre voix H sous/sur vêtement

En ce qui concerne la voix de femme, les différences au niveau du spectre sont moins marquées (fig II-8 p82). La différence principale est une hausse d'une dizaine de dB, progressivement à partir de 9000Hz, pour le micro-cravate sur les vêtements. Cette variation se produit à des niveaux très faibles (-90dB) mais cela correspond sûrement à la différence entendue par les auditeurs. La voix de femme est en effet plus chargée dans les aigus et l'on peut supposer que les formants principaux s'y situent. Cela paraît donc être l'explication au phénomène qui fait que la différence entre les deux micros-cravates s'entend pour une voix de femme.

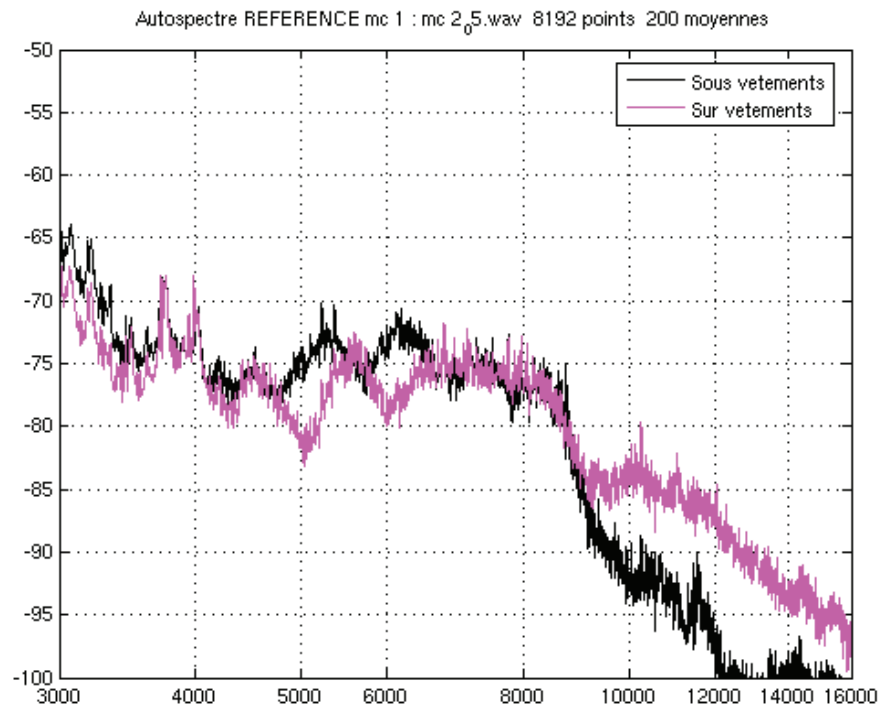


Figure II-8 – Spectre voix F sous/sur vêtement

CONCLUSION DE LA PARTIE EXPERIMENTALE

Cette dernière partie a été réalisée dans le but de valider la démarche expérimentale de ce mémoire. Nous avons pu tester par l'étude de différents paramètres l'appréciation globale des systèmes HF et du système filaire traditionnel par les auditeurs. Nous avons pu constater que la transmission filaire ne se distingue pas des autres systèmes en termes de préférences, car cette dernière se retrouve aux quatre places du classement sans tendance prédominante.

Les tests proposés n'ont donc finalement pas mis en évidence la différence entre la transmission filaire et la « famille » HF. Peut-être l'auditeur aurait dû être orienté plus clairement vers les paramètres liés directement à la transmission HF à savoir la distorsion et le bruit de fond.

Les résultats donnant une préférence globale sans équivoque pour le système numérique Zaxcom, il serait sûrement intéressant de poursuivre le travail en comparant plus précisément une transmission filaire et une transmission HF par un système Zaxcom. En effet même si les systèmes numériques posent encore pour le moment quelques problèmes (comme le délai), ils ont de fortes chances de s'imposer à termes grâce à l'évolution des tendances actuelles.

Pour ce qui est des tests portant sur les micros-cravates, nous avons pu constater que conformément à ce que nous pensions, le positionnement sur la poitrine est le moins idéal mais que des différences sous et sur vêtement ne sont heureusement pas toujours perceptibles. Les résultats de ces tests avec les micros-cravates sont d'ordre expérimentaux et n'appellent pas à une généralisation car les conditions de positionnement des micros-cravates ne peuvent en aucun cas être tous référencés.

CONCLUSION GENERALE

Les systèmes de prise de son HF sont arrivés sur les plateaux de tournage il y a une vingtaine d'années par l'utilisation des micros-cravates. Bien que certains ingénieurs du son utilisent la transmission HF pour leur prise de son principale (à la perche), cette pratique ne tend pas pour le moment à se généraliser, peut-être par peur et sûrement par habitude. Les effets de la transmission HF sur les signaux audio sont globalement perçus ou imaginés par les ingénieurs du son mais difficilement quantifiables de par leur seule subjectivité. La question à laquelle nous avons tenté de répondre est de déterminer si une généralisation de la prise de son HF dans le cas de la prise de son cinéma, pourrait se faire sans compromis sur la qualité des signaux, et plus précisément pour la voix. Dans ce but, et après avoir précisé les fonctionnements des systèmes HF et les conditions de leurs utilisations réglementées, nous avons analysé les altérations subies par le signal du fait de cette transmission HF, en regard des signaux obtenus par voie traditionnelle filaire. Les mesures puis les analyses effectuées nous ont permis d'établir des comparaisons sur trois niveaux : tout d'abord entre la transmission filaire et la transmission HF, puis entre deux systèmes analogiques et enfin entre les systèmes analogiques et les systèmes numériques.

Nous avons ainsi étudié les modifications des paramètres propres du signal tels que le spectre, la dynamique et la qualité des transitoires mais aussi les altérations supplémentaires telles que la distorsion, le bruit de fond ou encore l'intermodulation, inhérentes à la transmission HF. Ces analyses nous ont révélé plus de différences entre la transmission filaire et la transmission HF qu'il nous l'était suggérer par les données fournies par les constructeurs.

La comparaison des systèmes HF entre eux, nous a permis de découvrir qu'en plus d'avoir des caractéristiques techniques différentes, ils présentent des comportements bien singuliers. Le système numérique a montré une qualité de signal bien supérieure à celle des deux autres systèmes. Néanmoins, pour le cas précis d'une prise de son de la voix, les résultats des analyses nous laissent penser que les systèmes analogiques assurent une transmission de qualité

suffisante malgré les comportements de leurs circuits, basés sur des compromis psychoacoustiques.

Le caractère perceptible des résultats obtenus d'une part pour les comparaisons des transmissions filaire et HF, et d'autre part pour les comparaisons des différents comportements des trois systèmes, a déterminé l'axe principal de nos recherches. Aussi, nous avons effectué des tests perceptifs sur des auditeurs afin de déterminer la corrélation entre les conclusions des analyses techniques et leurs influences sur l'appréciation d'un son. Les résultats de ces tests ont fait apparaître une préférence globale sans équivoque en faveur du système numérique Zaxcom. Néanmoins, mise à part cette conclusion, nous n'avons pas réussi à mettre nettement en évidence les différences perceptibles entre la transmission filaire et la transmission HF. Nous pensons qu'il serait intéressant de poursuivre cette étude en orientant les tests perceptifs différemment, en faisant par exemple évaluer les paramètres ajoutés lors de la transmission HF (distorsion et bruit).

Cette étude sur la transmission est complétée par une caractérisation de la prise de son aux micros-cravates. Cette technique étant très utilisée, principalement en tant que prise de son d'appoint, nous avons tenté de différencier les caractéristiques propres de certains positionnements, à la fois par les analyses et les tests perceptifs. Si nous avons obtenu des résultats, nous ne pouvons les généraliser car la prise de son aux micros-cravates fait intervenir nombre de paramètres indépendants du son, tels que les costumes par exemple, dont nous ne pouvons faire état. Ces résultats sont donc présentés à titre expérimental sans aucun appel à classification.

Des tests supplémentaires seraient nécessaires pour pouvoir l'affirmer, mais nous pensons au terme de cette étude qu'il serait possible pour une prise de son de voix, d'envisager la généralisation de la prise de son HF sur les plateaux de tournage cinéma, et pourquoi pas, à termes, assister à l'essor des systèmes numériques.

BIBLIOGRAPHIE INDICATIVE

Ouvrages :

- *Comprendre et utiliser l'électronique des hautes-fréquences*, Jon B. Hagen, Publitrone Elecktor, 1999.
- *Sur cent années, le cinéma sonore*, Claude Lerouge, Dujarric, 1996.
- *Le son direct au cinéma*, C. Nougaret et S. Chiabaud, Femis, 1997.
- *Les Microphones, Guide de l'utilisateur, Du micro à charbon au micro numérique*, Claude Gendre, Editions Eyrolles, 1999.
- *Son et enregistrement*, Francis Rumsey et Tim McCormick, Editions Eyrolles, 2002
- *Électronique appliquée aux hautes fréquences*, François de Dieuleveult, Dunod, 1999
- *Émetteurs et récepteurs HF*, Hervé Cardinot, Eyrolles, 2002

Autres sources :

- Les notices d'utilisation fournies par les constructeurs
- Sites internet :
 - Sennheiser
 - Audio Limited
 - Zaxcom

Annexes

DESCRIPTION DES PREMIERS TESTS : 24/25 Février

Dossier 1 : cgmem

✓ Deux KM 150 placés à 60 cm du HP (Tannoy)

On enregistre :

Piste 1 : KM 150 filaire

Piste 2 : un 2^{ème} KM 150 transmis en HF (Audio Limited n°1, gain 6)

Piste 3 : le 1^{er} KM 150 (piste 1) passé en HF (Audio n°2, gain 9) à la console

Entrées de la console et du Tascam réglées à 1000 Hz/-20 dB

1^{ère} série d'enregistrement : toutes fréquences à 75 dB au niveau des micros :

Signaux sinusoïdaux :	- 1000 Hz
	- de 20 à 90 Hz par pas de 10 Hz
	- 150 / 200 / 400/ 600/ 800/ 1500/ 2000/ 2500/3000
	- 5000/ 10 000/ 15 000
Signaux carrés :	- 50 / 100/ 1000 Hz
Bruits blanc/rose	
Ambiances :	-Abeilles / Cigales
Voix :	-Anglais / espagnol / Français / Allemand

Dossier 2 : cgmem2

✓Influence de la mise en route du limiteur: (les 3 pistes dans la même config.)

On enregistre les signaux (30 s) avant que le limiteur ne se déclenche, puis on monte le niveau pour enregistrer les signaux avec le limiteur déclenché.

Signaux sinusoïdaux :	-80 / 400 / 1000 / 2500 / 10 000 Hz
Bruits blanc /rose	
Cigales	
Voix :	-Français / Allemand

✓Simulation d'éloignement par antenne enlevée / Décrochage :

piste 1 : KM 150 filaire

piste 2 : HF n°1 avec les modifications d'antennes du récepteur

piste 3 : HF n°2 normal

1000 Hz / Voix française / 1000 Hz carré

Dossier 3 : cq mem3

✓ Mise en cascade d'étages HF

piste 1 : Envoi direct du CD

piste 2 : 1 étage HF (audio)

piste 3 : 1 + 1 étages

piste 4 : 1 + 1 + 1

piste 5 : 1 + 1 + 1 + 1

Enregistrement d'un 1000 Hz

On passe par le bus programme. Premier enregistrement, CD en tranche 1, envoi par le bus programme dans la tranche 2. Pour la 2^{ème} passe, on envoie la piste 2 du tascam en tranche 1 de la console, et on l'envoie en HF qu'on récupère en tranche 2 mais en piste 3 du tascam....

✓ Mise en cascade, autre dispositif

On utilisera ici l'insert des tranches

piste 1 : Envoi direct du CD

piste 2 : 1 étage HF (audio)

piste 3 : 1 + 1 étages

piste 4 : 1 + 1 + 1

piste 5 : 1 + 1 + 1 batterie neuve

piste 6 : 1 + 1 + 1 + 1

Enregistrement d'un 1000 Hz et d'une voix

✓ Mise en cascade de 2 étages HF directement :

piste 1 / envoi CD

piste 2 : 1 étage HF

piste 3 : 1 + 1 étage

piste 4 :

1000 Hz/ Voix

✓Intermodulation :

Piste 1 : micro-cravate filaire

Piste 2 : micro-cravate n°1 avec HF Sennheiser n°1

Piste 3 : micro-cravate n° 2 avec HF Sennheiser n° 2

Les deux Sennheiser travaillent à la même fréquence. Mise en évidence de l'intermodulation en conditions limites (phénomène des « petits oiseaux »)

✓Comparaison Audio Limited / Sennheiser en faisant varier les gains des émetteurs / Importance du réglage du gain.

3 micros-cravates sont installés à 60 cm d'un HP

Piste 1 : mc filaire

Piste 2 : mc avec HF Sennheiser

Piste 3 : mc avec HF Audio Limited

Niveau de diffusion à 80 dB.

On part du Gain max, et on descend un par un les gains en enregistrant un 1000 Hz.

Dossier 4 : cg mem4

✓Comparaison Audio Limited / Sennheiser sur différents signaux

Piste 1 : mc filaire

Piste 2 : mc avec HF Sennheiser

Piste 3 : mc avec HF Audio Limited

-1000 / 150 / 10000 Hz

-Bruits blanc et rose

-Voix française / Allemande

✓Essai de la stéréo / Phase

Le narrateur marche sur les 8 positions. Un couple ORTF de KM 150

1-avec des clés, enregistrement avec 2 KM 150 en filaire puis en HF

2- Voix, enregistrement d'abord en HF puis en filaire.

✓tests avec les micros cravates / Positionnements / Accessoire avec Audio Limited

Enregistrements voix homme et femme :

Piste 1 : micro-cravate dans le cône de timbrage (placement de la perche)

Piste 2 : micro cravate sur la poitrine

Piste 1 : Placement sur la poitrine

Piste 2 : Placement dans les cheveux

Piste 1 : sous les vêtements

Piste 2 : sur les vêtements

Piste 1 : avec RM 11 puis avec bonnette

Piste 2 : sur les vêtements sans accessoires

Piste 1 : avec mousse

Piste 2 : sans

Piste 1 : sans

Piste 2 : avec windjamer

Piste 1 : sur la poitrine un peu bas

Piste 2 : 15 cm au-dessus.

✓tests d'éloignements : intérêt du diversity

Premier trajet jusqu'à décrochage

Deuxième trajet avec une antenne enlevée sur le récepteur.

COMPTE RENDU DE LA SECONDE SERIE DE TESTS

1 / Audio Limited

- ✓ Courbe 1 : courbe de réponse de 40 Hz à 20 kHz, gain à 7, avant limiteur, -34 dBu
- ✓ Courbe 2 : même condition, avec le coupe-bas
- ✓ Courbe 3 : on descend de -40 dB (-74 dBu d'envoi)
- ✓ Courbe 4 : Phase.
- ✓ Courbe 5 : Courbes de distorsion (0,2 % dans le médium)
- ✓ Rapport signal sur bruit avec le Gain à 0 : -86 dB

2 / Zaxcom

- ✓ Le gain de l'émetteur est réglé en position maximale (66), on relève les niveaux :

1000 Hz :

Niv. Entrée Émetteur (dBu)	-60	-59	-58	-57	-55	-53	-52	-51	-50	-49	-44	-43
Niv. Sortie Récepteur (dBu)	-6	-5	-4	-3	-1	1	2	2	2	2	1,48	1,7
Distorsion (%)											1,3	1,5



-41	-38	-36	-34	-32	-29	-26
1,5	1,1	0,9	0,6	0,3	0	-0,7
					4	

Le limiteur agit strictement de la même manière à toutes les fréquences.

- ✓ Mesure du délai : 183 échantillons

- ✓ Courbe 6 : courbe de réponse avec le plus petit coupe-bas (ne monte pas après 16k)
- ✓ Courbe 7 : même condition mais avec le coupe bas 4 de l'émetteur
- ✓ Courbe 8 : on envoie le signal avec 40 dB en moins et sans filtre
- ✓ Courbe 9 : Distorsion à niveau nominal (très bonne)

3 / Sennheiser

On remarque que le limiteur agit différemment selon les fréquences. En effet, , pour les hautes fréquences, le limiteur agit beaucoup plus tôt (en termes de niveau). Par exemple pour un niveau de -10 dB d'entrée, la courbe de réponse chute dès 2500 Hz.

✓ Courbe 10 : courbe de réponse à -35 dB

✓ Courbe 11 : envoi – 30 dB (c'est-à-dire -75dB)

✓ Rapport signal à bruit : -53 dB

à Gain 0 : -71 dB

✓ Mesures des niveaux, gain en position 8 :

1000 HZ :

Entrée émetteur (dBu)	-41	-40	-39	-38	-37	-36	-35	-34	-33
Sortie Récepteur (dBu)	-13	-12	-11,2	-10,9	-10	-10,5	-10,4	-11,2	-12,1
Taux de distorsion (%)	0,5	0,47	0,5	0,9	1,3	1,6	2,2	5	

-32	-31	-29	-28	-27	-43	-45	-47	-49	-51	-53	-63	-73	-83
-13,1	-14	-15,5	-17	-18	-15	-17	-19	-21	-23	-25	-35	-45	-55

4 kHz :

-60	-50	-49	-48	-47	-46	-44	-42	-41	-40	-39	-36	-35
-31,3	-21,3	-20,4	-19,3	-18,5	-18,2	-18,2	-18,1	-18	-18	-18	-18	-18
			0,9			1	1	1,1	1,27	1,4	1,5	1,6

-34	-33	-32
-18,4	-19,1	-19,8
3	5,1	7

12 kHz :

-80	-70	-68	-66	-64	-63	-62	-60	-59	-55	-50	-40	-27
-51,6	-41,8	-39,8	-37,9	-35,8	-34,3	-34,8	-34	-34	-33,7	-33,	-33,7	-34

18 kHz :

-80	-78	-76	-74	-72	-70	-68	-66	-64	-62	-60	-58
-51,5	-49,6	-47,6	-45,6	-43,6	-41,8	-41	-40,8	-40,7	-40,6	-40,5	-40,4

-56	-50	-46	-32	-28
-40,3	-40,1	-40	-39,4	-39,5

Lorsque le limiteur se déclenche à 1000 Hz, ça distord très vite.

4 / Enregistrements

Piste 1 : Envoi CD

Piste 2 : Audio Limited (Gain à 7)

Piste 3 : Sennheiser (Gain à 8)

Piste 4 : Zaxcom (Gain à 66)

✓ 1'25 → 2'00 : Bruit rose

✓ 2'00 → 2'50 : Bruit rose

✓ 2'51 → 3'30 : avec les coupe bas

✓ 3'33 → 4'50 : -30 dB d'envoi avec coupe-bas (pb de piles Zaxcom)

✓ 4'50 → 5'35 : -30 dB d'envoi avec coupe-bas

✓ 6'26 → 7'15 : 1000 Hz, juste avant limiteur

✓ 5'36 → 6'25 : -30 dB d'envoi ss coupe-bas

✓ 7'16 → 8'00 : Idem mais ss le 1000 Hz

✓ 8'02 → 8'46 : 1000 Hz avec tous les émetteurs au gain min. (avant limiteur)

✓ 8'48 → 9'44 : idem

✓ 9'45 → 10'35 : idem mais ss signal (bruit de fond Zaxcom car pas de compresseur)

✓ 10'36 → 12'28 : Voix (ss coupe-bas)

Gain 5 / 5 / 36, réglage avant limiteur avec un 1000, du coup le limiteur du Sennheiser s'allume beaucoup.

✓ 12'28 → 14'24 : les 3 limiteurs se déclenchent

✓ 16'16 → 17'01 : 1000 Hz dans le limiteur (intérêt : Zaxcom, on entend autre chose)

✓ 17'02 → 17'50 : Bruit rose dans les 3 limiteurs

✓ 17'52 → 18'43 : Voix F pas de limiteurs

✓18'43 → 19'32 : Voix F : dans les limiteurs, différence de la qualité des sifflantes

✓19'33 → 19'50 : enregistrement de clics

✓19'50 → 24'31 : clics de 512 à 1 échantillons

✓24'31 → 27'33 : Bursts (voir précisions)

rmq : pour les fronts d'attaques, Sennheiser répond très mal par contre Zaxcom réagit très bien (constante de temps très rapide)

✓27'50 → 28'28 : Chocs de clés

✓28'28 → 29'39 : Envoi d'une prise de son au micro cravate Sanken filaire.

✓29'39 → 31'05 : Cigales dans limiteurs

✓31'06 → 32'00: Cigales

✓32'05 → 33'25 : Stéréo : déplacement 2 KM 150 en filaire et en HF

Nom :

Section :

Tests Perceptifs

Sujet : La transmission HF appliquée à la prise de son cinéma

Le test que vous allez réaliser maintenant porte sur la transmission HF. La plupart des questions posées seront sous forme de notes à donner par comparaison de signaux.

Des différences existent entre les sons qui vous sont proposés, cependant certains sons se ressemblent fortement. Si vous ne détectez aucune différence dans le paramètre étudié n'hésitez pas à le noter !

I/ Questions préliminaires

- ♦ Avez-vous déjà pratiqué la prise de son HF avec des micros-cravates ?
- ♦ Si oui :
 - Pour quelles applications (musique, cinéma...) ?
 - Avec quel type de systèmes HF ?

II/ Transmission HF

III/1 ✓ Vous allez entendre une voix d'homme 4 fois. La première est la référence.

Vous noterez la ressemblance spectrale des sons étudiés par rapport à la référence, puis la dynamique.

9 → Spectres identiques 5 → globalement ressemblants 0 → Totalement différents

	Ressemblance spectrale	Coloration
Son analysé 1	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
Son analysé 2 :	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
Son analysé 3 :	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	

9 → Très grande dynamique 5 → Dynamique = référence 0 → Très petite dynamique

Son analysé 1: 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

Son analysé 2: 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

Son analysé 3: 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

Classez les sons par ordre de préférence, (si vous appréciez de la même manière 2 sons, donnez la même place)

Son 1 : Son 2 : Son 3 :

Commentaires :

III/2 ✓ Vous allez entendre des chocs de clés derrière une voix 4 fois.

Focalisez vous sur le son des clés.

Notez la précision des clés :

9 → Extrêmement claires et précises 6 → Très précises 4 → Plutôt précises

0 → Pas précises du tout

Clés 1 : 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

Clés 2 : 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

Clés 3 : 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

Clés 4 : 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

Commentaires

III/Micros-cravates

III/1 ✓ Dans les 2 prochains extraits, 2 micros-cravates sont positionnés sur le narrateur.

Pour chacun, vous donnerez une note sur l'équilibre spectral et la coloration.

Équilibre spectral :

9 → Extrêmement équilibré (totalement naturel)

5 → plutôt équilibré mais avec une petite coloration

0 → Pas du tout naturel, beaucoup trop coloré

Micro-cravate n°1 : 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

Coloration :

Micro-cravate n°2 : 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

Coloration :

Préférences (à entourer) :

Micro-cravate n°1

Micro-cravate n°2

III/2 ✓ Mêmes questions pour les 2 prochains extraits :

Équilibre spectral :

9 → Extrêmement équilibré (totalement naturel)

5 → plutôt équilibré mais avec une petite coloration

0 → Pas du tout naturel, beaucoup trop coloré

Micro-cravate n°1 : 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

Coloration :

Micro-cravate n°2 : 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

Coloration :

Préférences (à entourer) :

Micro-cravate n°1

Micro-cravate n°2

Commentaires :

III/3 ✓ Mêmes questions pour les 2 prochains extraits :

Équilibre spectral :

9 → Extrêmement équilibré (totalement naturel)

5 → plutôt équilibré mais avec une petite coloration

0 → Pas du tout naturel, beaucoup trop coloré

Micro-cravate n°1 : 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

Coloration :

Micro-cravate n°2 : 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

Coloration :

Préférence :

Micro-cravate n°1

Micro-cravate n°2

III/4 ✓ Pour les deux prochains extraits, notez l'équilibre spectral et la précision :

9 → Extrêmement équilibré (totalement naturel)

5 → plutôt équilibré mais avec une petite coloration

0 → Pas du tout naturel, beaucoup trop coloré

9 → Extrêmement précis 5 → Précis

0 → Pas précis du tout

	Équilibre spectral		Précision - Netteté
Son analysé 1:	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9		0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
Son analysé 2:	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9		0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

Préférences :

Micro-cravate 1

Micro cravate 2

III/5 ✓ Même question pour les deux prochains extraits, notez l'équilibre spectral et la précision :

	Équilibre spectral		Précision - Netteté
Son analysé 1:	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9		0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
Son analysé 2:	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9		0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

Préférences :

Micro-cravate 1

Micro cravate 2

Commentaires :

IV / Transmission

IV/1 ✓ Vous allez entendre 3 extraits, notez la qualité des sifflantes

0 → Pas précises du tout, pas belles

3 → Plutôt précises

5 → Très précises

Extrait 1 : 0 1 2 3 4 5

Extrait 2 : 0 1 2 3 4 5

Extrait 3 : 0 1 2 3 4 5

Commentaires :

IV/2✓ Pour les 4 prochains extraits, indiquez votre ordre de préférence pour les paramètres suivants :

(si vous n'entendez pas de différence, entourez =)

Moins bien

mieux



Équilibre spectral :

= = =

< < <

Précision des transitoires :

= = =

< < <

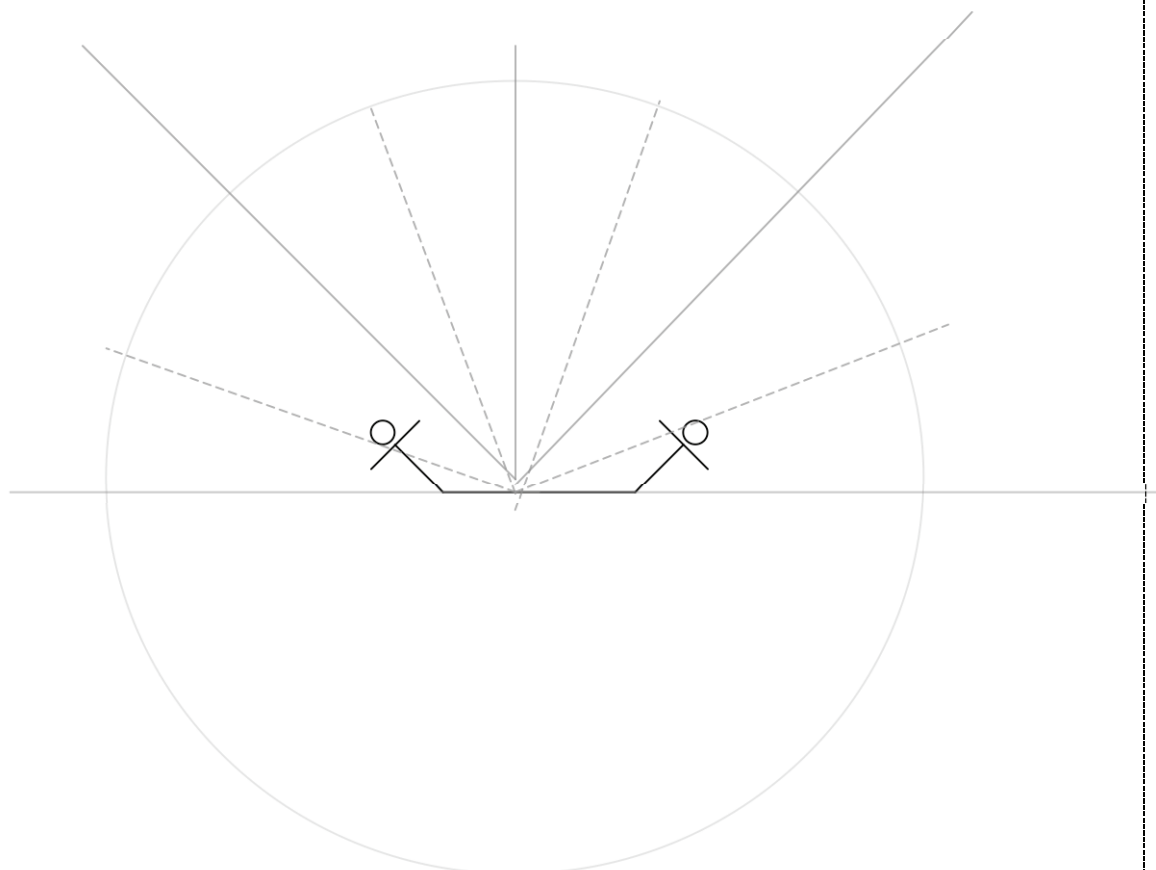
Préférence globale :

= = =

< < <

IV/3 ✓ Les 4 prochains extraits que vous allez entendre sont stéréo.

Dessinez les positions du narrateur, et pour chaque position, donnez une note de précision (en termes de latéralisation (0 → pas précis du tout 5 → très précis))



Résultats bruts des tests perceptifs

Q I-1 - Ressemblance spectrale		
<i>Audio Ltd</i>	<i>Sennheiser</i>	<i>Zaxcom</i>
6	3	8
8	5	6
7	4	9
5	3	8
2	3	7
5	0	9
8	4	6
7	6	9
8	6	5
7	8	8
7	9	9

Question I-1 - Coloration		
<i>Audio Ltd</i>	<i>Sennhe</i>	<i>Zaxcom</i>
médium aigu	médiu	bas
	haut	
Souffle	distorsi	
bruit de fond	manqu	
spectre étroit	bruit	
	distorsi	
centre aigu	manqu	
	haut	bas aigu
grave		
bas medium		

Question I-1 - Dynamique		
<i>Audio Ltd</i>	<i>Sennheiser</i>	<i>Zaxcom</i>
7	3	5
6	2	5
4	3	5
5	1	3
2	5	4
5	2	9
7	4	6
6	3	4
7	4	6
4	5	5
3	5	5

Question I-1 - Classement		
<i>Audio Limited</i>	<i>Sennh</i>	<i>Zaxcom</i>
2	3	1
1	3	2
2	3	1
1	3	2
3	2	1
2	3	1
2	3	1
2	3	1
1	3	2
2	3	1
2	3	1

Question Précision clés-2.2			
<i>filaire</i>	<i>Audio Ltd</i>	<i>Sennheiser</i>	<i>Zaxcom</i>
3	5	7	2
4	5	2	7
7	8	3	7
4	6	1	8
5	3	1	8
8	4	1	8
6	5	2	7
3	6	1	8
4	3	2	6
8	1	0	8
6	4	3	7

Question micro cravate 3.1		
Eq.spec 1	Eq.spec 2	Préférence
2	7	2
1	1	2
2	3	2
0	3	2
0	0	0
0	0	0
4	5	2
0	4	2
3	6	2
2	5	2
2	3	2

Question micro cravate 3.2		
Eq.spec 1	Eq.spec 2	Préférence
6	7	1
4	4	0
2	2	0
4	4	0
3	5	2
5	0	2
7	8	2
2	4	2
3	3	2
2	5	2
3	6	2

Question Précision sifflantes 3.6		
Audio Ltd	Sennheiser	Zaxcom
3	1	4
1	0	1
3	1	4
5	1	3
3	0	4
4	0	4

Question micro-cravate sous /sur voix H				
Eq.Spec 1	Eq.Spec 2	Précision 1	Précision	Préférence
8	3	7	3	1
3	4	3	4	2
3	2	3	2	1
4	3	3	2	1
3	2	5	2	1
2	2	6	7	2
5	6	5	6	2
3	4	2	4	2
4	5	4	5	2
3	4	3	6	2
3	4	4	3	1

Question micro-cravate sous /sur voix F				
Eq.Spec 1	Eq. Spect 2	Précision 1	Précision	Préférence
3	7	2	8	2
2	3	2	3	2
1	3	2	4	2
3	4	2	7	2
4	5	4	5	2
3	3	5	5	0
3	4	3	5	2
5	5	2	4	2
4	6	4	6	2
3	7	4	7	2
3	6	6	6	2

Classement Equilibre spectral				
	Filaire	Audio	Sennheiser	Zaxcom
Flore	1	1	4	3
Ronald	3	4	2	1
Vincen	4	1	2	3
Sylvain	2	1	2	4
Marc	3	2	2	1
Xavier	2	2	2	1
Mai	1	4	3	2
Patrick	3	4	1	2
Antoin	1	2	3	3
Benoît	1	3	4	1
Jean	2	4	2	1
Antoin	3	2	3	1
François	4	3	2	1

Classement précision des transitoires				
	Filaire	Audio	Sennheiser	Zaxcom
Flore	2	4	3	1
Ronald	3	4	2	1
Vincen	3	2	4	1
Sylvain	3	2	4	1
Marc	4	1	3	2
Xavier	2	2	2	1
Mai	2	3	4	1
Patrick	3	2	4	1
Antoin	4	1	3	2
Benoît	1	3	2	1
Jean	4	3	1	1
Antoin	2	1	3	4
François	1	4	3	2

Préférences				
	Filaire	Audio	Patrick	Zaxcom
Flore	2	1	4	3
Ronald	3	4	2	1
Vincen	4	1	2	3
Sylvain	1	2	3	3
Marc	4	3	2	1
Xavier	2	2	2	1
Mai	1	4	3	2
Patrick	2	3	4	1
Antoin	1	4	3	2
Benoît	1	4	3	1
Jean	3	4	2	1
Antoin	2	1	2	2
François	3	4	2	1

Nombre de votes obtenus par note

Question II-1 - Ressemblance spectrale à la référence										
Res. Spec 1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Audio limited	0	0	1	0	0	2	1	4	3	0
Sennheiser	1	0	0	3	2	1	2	0	1	1
Zaxcom	0	0	0	0	0	1	2	1	3	4

Question II-1 - Dynamique par rapport à la référence										
Dynamique 1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Audio limited	0	0	1	1	2	2	2	3	0	0
Sennheiser	0	1	2	3	2	3	0	0	0	0
Zaxcom	0	0	0	1	2	5	2	0	0	1

Question II-1-Classement			
Pref 1	1 ^{er}	2 ^{ème}	3 ^{ème}
Audio Limited	3	7	1
Sennheiser	0	1	10
Zaxcom	8	3	0

Question II-2 - Précision des clés										
Préc. Clés	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Audio limited	0	1	0	2	2	3	2	0	1	0
Sennheiser	1	4	2	2	0	0	0	1	0	0
Zaxcom	0	0	1	0	0	0	1	4	5	0
filaire	0	0	0	2	3	1	2	1	2	0

Question III-1- micro-cravate 1 - Poitrine/cheveux voix H										
Eq. Spec mc 1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
mc poitrine	4	1	4	1	1	0	0	0	0	0
mc cheveux	2	1	0	3	1	2	1	1	0	0

Q III-1-Préférence	
Pref mc 1	
mc poitrine	0
mc cheveux	9
aucun	2

Question III-2- micro-cravate 2 - Poitrine/cheveux voix F										
Eq. Spec mc 2	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
mc 1	0	0	3	1	4	1	1	1	0	0
mc 2	2	3	1	2	1	1	1	0	0	0

Q III-2-Préférence	
mc poitrine	2
mc cheveux	9
aucun	0

Question III-3- micro-cravate 3 -										
Eq. Spec mc 3	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
mc 1	0	0	3	3	2	1	1	1	0	0
mc 2	1	0	1	1	3	2	1	1	0	0

Q III-3-Préférence	
mc haut	1
mc bas	7
aucun	3

Question III-4- micro-cravate 4 -ÉQUILIBRE SPECTRAL										
Eq. Spec mc 4	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
mc 1 sous	0	0	1	6	2	1	0	0	1	0
mc 2 sur	0	0	3	2	4	1	1	0	0	0

Question III-4- micro-cravate 4 -PRÉCISION										
Précision 4	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
mc 1 sous	0	0	1	4	2	1	1	1	0	0
mc 2 sur	0	0	3	2	2	1	2	1	0	0

Q III-4 -Préférence	
mc sous vêt.	5
mc 2 sur vêt.	6
aucun	0

Question III-5- micro-cravate 5 -ÉQUILIBRE SPECTRAL										
Eq spec. 5	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
mc 1 sous	0	1	1	6	2	1	0	0	0	0
mc 2 sur	0	0	0	3	2	2	2	2	0	0

Question III-5- micro-cravate 5 -PRÉCISION										
Précision 5	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
mc 1 sous	0	0	5	1	3	1	1	0	0	0
mc 2 sur	0	0	0	1	2	3	2	2	1	0

Q III-5 -Préférence	
mc 1 sous	0
mc 2 sur	10
aucun	1