



L'impact de l'utilisation de systèmes Hfs sur la prise de son plateau

Chloé Guillaumin

Sous la direction d'Olivier Hespel

INSAS - Section SON

2010-2011

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier Olivier Hespel, pour ses conseils avisés et son soutien.

Olivier Boisgard pour ses explications précieuses au sujet de la transmission Hf et Laurent Allard pour ses éclaircissements au sujet de l'électromagnétisme.

L'AFSI et tous ses membres qui ont pris le temps de répondre avec soin à mon questionnaire.

Jean-Pierre Laforce, Guillaume Sciama, Philippe Vandendriessche, Julien Bourgon, Thierry Lebon, Frédéric Dubois, Franco Piscopo, Gilles Benardeau et Ingrid Simon pour les entretiens qu'ils m'ont accordés.

Enfin, je tiens à adresser toute ma reconnaissance à ma famille et mes proches pour leur soutien inconditionnel.

Ce mémoire est dédié à Bertrand Romefort.

SOMMAIRE

Partie 1: Principes théoriques et technologies de la transmission en Hautes-fréquences

I. Établissement des principes théoriques de la transmission en Hautes fréquences :.....	6
A. La théorie de l'électromagnétisme.	6
1. Électricité d'un côté, magnétisme de l'autre.	6
2. Interactions électromagnétiques.	7
3. Unification de l'électromagnétisme par Maxwell.	8
B. De la théorie à l'expérimentation : Hertz et la production des ondes électromagnétiques.	12
1. La bobine de Ruhmkorff :	12
2. Le montage d'Heinrich Hertz :	14
C. Synthèse : caractéristiques des ondes électromagnétiques et de leur propagation.....	17
1. Grandeurs caractéristiques :	17
2. Propagation des ondes électromagnétiques dans l'air et réaction face aux obstacles:.....	19
II. Principes de la technologie de la transmission d'un signal audio en « Hautes Fréquences ».....	25
A. Contraintes qui ne permettent pas d'émettre tel quel le signal audio	25
B. Les techniques de modulation :.....	26
1. La modulation d'amplitude :	26
2. La modulation de fréquence :	30
3. Les modulations numériques QPSK et QAM :	34
C. Constitution d'un canal de transmission Haute Fréquence : émetteur, émission et récepteur	37
1. Structure d'un émetteur :	38
2. L'émission : antenne et rayonnement	39
3. Structure d'un récepteur	40
III. Mise en pratique pour les systèmes Hfs de plateau.....	43
A. Technologie des émetteurs-récepteurs micros Hfs miniaturisés :	44
1. Constitution particulière des émetteurs et des récepteurs Hfs miniaturisés à destination de la prise de son professionnelle	44
2. Les micros cravates.	50
B. Phénomènes indésirables liés aux systèmes émetteurs-récepteurs micros Hfs miniaturisés et à la transmission Hf :	52
1. Les interférences dues aux systèmes Hfs:	52
2. Limite des systèmes de traitement audio analogiques :	54
3. Les inconvénients en numérique:	54
C. Phénomènes indésirables liés à l'environnement sur le plateau.....	55
1. Présence d'émetteurs radiofréquences plus puissants :	55
2. Interférences avec d'autres appareils :	55
3. Interférences liées au décor :	56

D. L'attribution des plages de fréquences : cadre réglementaire pour l'utilisation des systèmes micros Hfs	57
--	----

Partie 2: L'emploi des Hfs dans l'élaboration d'une bande-son.

I. <i>Évolutions ayant amené ou accompagné les Hfs</i> :	65
A. Du mono au multipiste : l'évolution des enregistreurs.....	66
B. L'évolution de la qualité de diffusion	68
C. Facteurs financiers et environnementaux.....	69
II. <i>Les Hfs et la prise de son sur le plateau</i>	70
A. Préparation du tournage :	70
B. Les Hfs, les voix et les autres sons.....	74
C. Perches ou Hfs ? Différences de pratique entre les deux	79
D. La place de l'équipe son sur le plateau	81
E. Enregistrement des Hfs et lien avec la post-production	87
III. <i>L'utilisation des Hfs en post-production</i>	88
A. Évolution des métiers et du matériel de post-production sonore :	88
B. Le montage des directs et les Hfs :	89
C. Les voix Hfs dans les mixages	93

Partie 3 : Évolution de l'esthétique sonore des films. Quel(s) lien(s) avec les systèmes Hfs?

I. <i>Le statut de la voix entre le début des années 60 et la fin des années 80</i>	100
II. <i>Les tendances sonores des films contemporains</i>	101
A. Les voix propres et la culture d'une certaine proximité	101
B. La voix toute-puissante :	103
C. Les détails sonores et l'utilisation de la dynamique :	106
D. Le dépouillement des bandes-son :	109
<i>Conclusion générale:</i>	113

INTRODUCTION

Si j'ai choisi comme sujet pour mon travail de fin d'études, l'utilisation des systèmes Hfs, c'est parce que leur emploi m'est apparu tout au long de mes études, comme un sujet à controverse parmi les professionnels du son au cinéma. J'ai donc cherché à savoir pourquoi.

Dans un premier temps, nous nous pencherons sur ce qu'est la transmission haute fréquence. De quel phénomène physique découle t-elle ? Pourquoi permet-elle de transmettre des informations sans support physique ? Quels sont les technologies qui l'exploitent et dans quel but ? Et plus particulièrement, comment est elle mise en œuvre dans les systèmes émetteurs-récepteurs Hfs de plateau ?

Ensuite, nous évoquerons les manières dont ces systèmes sont utilisés par les preneurs de son, puis par les professionnels de la post-production. Quels enjeux pratiques, sociaux, intellectuels entraînent-ils dans l'exercice de l'élaboration d'une bande sonore d'un film ? Ces différentes questions seront toujours traitées en étant mises en perspective avec l'historique de l'évolution des techniques du son.

Enfin, j'ai voulu m'interroger de manière plus personnelle sur le lien entre la prise de son aux systèmes Hfs et l'évolution esthétique des bandes-son depuis 20 ans. Afin de confronter ma pensée à la réalité de l'écriture sonore actuelle au cinéma.

Partie 1 : Principes théoriques et Technologies de la transmission en Hautes Fréquences

I. Établissement des principes théoriques de la transmission en Hautes fréquences :

A. La théorie de l'électromagnétisme.

Le but de cette partie est d'expliquer le chemin scientifique qui a conduit les physiciens du XIX^e siècle, à la découverte d'un domaine fondamental de la physique: l'électromagnétisme. Ce chemin s'est fait grâce à l'étude parallèle des phénomènes électriques et magnétiques, jusqu'à l'unification de ces deux domaines en un seul.

Les transmissions d'informations via des hautes fréquences, sont basées sur la théorie de l'électromagnétisme, dont elles sont un des nombreux domaines d'application.

1. Électricité d'un côté, magnétisme de l'autre.

C'est au XVII^e siècle qu'ont lieu les premières études scientifiques sur l'électricité. On constate que sous certaines conditions, il existe des « charges électriques » dans certains corps ou objets. De plus, ces charges sont de deux types opposés, « positives » et « négatives » (appelées ainsi par convention). Les corps électrisés le restant ensuite, on parle d'électrostatique.

Au XVIII^e siècle, Charles-Augustin de Coulomb (1736-1806) étudie ces charges électriques et se rend compte qu'elles agissent les unes sur les autres, selon des forces. Ce sont les forces électrostatiques, dont il décrit le comportement dans sa fameuse « Loi de Coulomb » : deux charges agissent l'une sur l'autre selon une force (qui peut-être attractive ou répulsive) inversement proportionnelle au carré de la distance séparant ces deux charges.

Les phénomènes magnétiques sont eux aussi connus (depuis la Haute Antiquité) et étudiés. Ainsi, l'existence du champ magnétique terrestre est-elle déterminée par les recherches de William Gilbert (1544-1603) au XVII^e s. Les travaux de nombreux scientifiques sur le magnétisme mènent à la conclusion qu'il existe aussi des sortes de « charges magnétiques » opposées qui agissent l'une sur l'autre par des forces, très proches des forces électrostatiques.

Mais il y a une différence de taille, un corps magnétique (aimant) porte toujours les deux types de « charges » opposées à ses extrémités et ce même si on le coupe en deux. Contrairement aux charges électriques, qu'il est possible d'isoler les unes des autres, on ne peut créer de « monopôle » magnétique.

C'est ensuite au tout début du XIX^e, qu'une découverte de taille va faire avancer la recherche sur l'électricité: celle du « courant électrique ». En 1800, Alessandro Volta (1740-1827) invente la pile électrique, qui montre que les charges se déplacent en un courant. De plus, cette invention permet de créer des générateurs de courant et ainsi d'effectuer des expériences de plus en plus élaborées.

Pour ce qui est du magnétisme, en 1820, Hans Christian Oersted (1775-1851) réalise une expérience fondamentale : un fil mis en parallèle à une aiguille de boussole, et parcouru par un courant, fait bouger cette aiguille.

2. Interactions électromagnétiques.

Dès l'expérience d'Oersted, on pense qu'électricité et magnétisme sont liés d'une manière ou d'une autre. De nombreux physiciens cherchent alors de quelle manière et cherchent aussi à obtenir l'effet réciproque de cette expérience: créer un courant électrique dans un circuit sans pile à l'aide d'un aimant, c'est l'induction.

Parmi ces scientifiques, les travaux d'André-Marie Ampère (1775-1836) se détachent. Étudiant les interactions des courants électriques entre eux, il met en évidence qu'un courant produit des lignes de champ magnétiques. Il émet alors l'hypothèse que le magnétisme est peut-être une cause de l'électricité.

En 1821, Michael Faraday (1791-1836) est chargé par un magazine scientifique de faire des recherches sur ce lien entre magnétisme et électricité. Il arrive assez vite à créer le premier moteur électrique en poussant plus loin l'expérience d'Oersted : sous l'action de courants électriques, il fait tourner un aimant. Mais c'est en 1831, qu'il découvre enfin le « secret » de l'induction. Pour arriver à induire un courant électrique dans un circuit sans pile, il faut faire varier la distance entre le circuit « primaire » (avec pile), qui émet du magnétisme et le circuit « secondaire » (sans pile). Si le mouvement s'arrête, le courant ne circule plus. C'est le principe du transformateur.

Faraday écrit alors une loi fondamentale, la loi quantitative de l'induction électromagnétique : la force électromotrice induite dans un circuit est égale à la dérivée par rapport au temps du flux du « champ magnétique » à travers le circuit.

En parallèle aux travaux de Faraday, d'autres physiciens font des découvertes sur ce qu'on peut appeler désormais l'électromagnétisme, découvertes qui découlent sur d'autres lois. Citons par exemple, la « Formule de Laplace », qui décrit les actions magnétiques sur un circuit. Mais ces nombreuses découvertes ne forment pas un ensemble cohérent.

3. Unification de l'électromagnétisme par Maxwell.

Reprenant les travaux de Faraday, ainsi que ceux de nombreux autres physiciens, l'écossais James Clerk Maxwell (1831-1879) va réussir à unir toutes les découvertes et à leur donner un cadre mathématique sous la forme d'équations.

Ces équations (20 au temps de Maxwell réduites ensuite à 4 grâce à l'introduction des opérateurs vectoriels) sont d'un niveau de formulation mathématique très élevé et les démontrer ne serait d'aucune utilité dans cette étude. Toutefois, nous allons tenter d'identifier et de définir les grandeurs fondamentales qui entrent en jeu, puis d'interpréter les « comportements » de ces grandeurs que les équations suggèrent, afin de faire le lien avec la mise en pratique de l'électromagnétisme dans la technologie.

a) Les termes des équations:

Un concept important, introduit par Faraday et théorisé par Maxwell, est celui de « champ ». Toute la théorie moderne de l'électromagnétisme est basée sur le fait qu'il ne faut pas considérer les charges électriques et « magnétiques » que comme des entités individuelles, ponctuelles mais bien aussi comme un ensemble, entité de l'espace-temps.

Champ électrique :

Lorsque l'on considère une particule immobile en un point M, de charge q, elle subit de la part de l'ensemble des autres particules, une force F_e . Cette force F_e est proportionnelle à q, mais ne dépend pas que d'elle. Elle dépend aussi de l'ensemble des charges alentour qui modifient l'espace autour de M, même si on « enlève » q. C'est cet ensemble, « propriété de l'espace-temps¹ » que nous appelons champ électrique E. Il s'agit d'une grandeur vectorielle, qui varie au cours du temps t et de la position r et qui est définie par son amplitude et sa direction.

$$E(t,r) = F_e(t,r)/q$$

D'autre part, reprenant les travaux de ces prédécesseurs, Maxwell introduit un nouveau terme, le courant de déplacement. Ce courant de déplacement est la variation dans le

¹ d'ap Fred Gardiol, *Traité d'électricité, Tome III, Electromagnétisme*.

temps du champ de déplacement $D(t,r)$ et est représentée par la dérivée partielle par rapport au temps de celui-ci : $\partial D(t,r)/\partial t$.

Le champ de déplacement $D(t,r)$ est la représentation des effets électriques du champ électrique $E(t,r)$, sur les charges d'un corps, c'est donc une fonction de E . Selon la nature des corps, l'expression de D est plus ou moins linéaire par rapport à E mais dans le cas qui nous intéresse (dans le vide et dans l'air), $D(t,r) = \epsilon E(t,r)$ où ϵ est la permittivité absolue du matériau ($\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$ où ϵ_0 , constante électrique ($= 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ As/Vm}$) et ϵ_r , permittivité relative du matériau).

Champ magnétique :

De manière similaire, il existe un champ d'induction magnétique B , propriété de l'espace-temps et grandeur vectorielle qui agit sur une charge électrique q en mouvement, de vitesse v , selon une force F_m , dirigée perpendiculairement à v et à B .

$$B(t,r) \times v(t,r) = F_m(t,r)/q \quad [\text{« } \times \text{ » représente un produit vectoriel}]$$

Ce champ d'induction est aussi défini par : $B(t,r) = \mu [H(t,r) + M(t,r)]$.

C'est-à-dire, la somme du champ magnétique $H(t,r)$ d'un corps et de son aimantation $M(t,r)$, multipliés par μ , perméabilité absolue du matériau. ($\mu = \mu_0 \mu_r$ où la constante magnétique $\mu_0 (= 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Vs/A})$ et μ_r , est la perméabilité relative du matériau). Lorsque l'on est dans le vide, l'air ou les matériaux non ferromagnétiques, l'aimantation est négligeable et on a $B(t,r) = \mu H(t,r)$. Dans la suite de cette étude, nous nous placerons toujours dans l'air et H désignera le champ magnétique selon cette définition.

Densité de charge électrique et densité de courant :

Deux autres termes, présents dans les équations de Maxwell, doivent être définis : la densité de charge électrique $\rho(r,t)$, qui représente quantitativement la distribution des charges électrique dans un matériau selon son volume. Et la densité de courant électrique $J(t,r) = \sigma E(t,r)$, où σ est la conductivité d'un matériau. J représente la capacité d'un matériau à faire circuler un courant électrique lorsqu'il est soumis à un champ électrique.

b) Les équations de Maxwell :

Maintenant que ces termes ont été définis, voici les équations de Maxwell pour n'importe quel milieu, sous leur forme mathématique locale (ou différentielle) :

$$\begin{aligned}\nabla \times E(t,r) &= - \partial B(t,r)/\partial t & \nabla \cdot D(t,r) &= \rho(t,r) \\ \nabla \times H(t,r) &= \partial D(t,r)/\partial t + J(t,r) & \nabla \cdot B(t,r) &= 0\end{aligned}$$

∇ est l'opérateur vectoriel différentiel « nabla », il sert à exprimer des opérations vectorielles. Ainsi $\nabla \times$ = l'opération rotationnel et $\nabla \cdot$ = l'opération divergence. Nous ne rentrerons pas dans les détails de ce formalisme mathématique mais ce qu'il est primordial de retenir c'est que les opérations représentées par cet opérateur, sont des opérations de variations spatiales d'un vecteur. Les équations de Maxwell lient donc des variations spatiales d'un champ à des variations temporelles (représentées elle par les dérivées partielles $\partial/\partial t$) d'un autre champ.

D'après ce que nous avons vu dans les définitions de chacun des termes, il est possible d'écrire les équations de Maxwell pour le milieu qui nous intéresse l'air, en remplaçant $D(t,r)$ et $B(t,r)$ par les expressions les liant à $E(t,r)$ et $H(t,r)$:

$$\begin{aligned}(1) \quad \nabla \times E(t,r) &= - \mu [\partial H(t,r)/\partial t] & (3) \quad \nabla \cdot E(t,r) &= \rho(t,r)/\epsilon \\ (2) \quad \nabla \times H(t,r) &= \epsilon [\partial E(t,r)/\partial t] + J(t,r) & (4) \quad \nabla \cdot H(t,r) &= 0\end{aligned}$$

Ainsi, elles ne lient plus 4 champs mais seulement 2. D'autre part, dans l'air, ces équations sont toutes « symétriques ou duales » c'est-à-dire qu'en résolvant l'équation « électrique », on peut en déduire la solution à l'équation « magnétique ». C'est pourquoi dans l'étude générale des phénomènes électromagnétiques, on cherche à résoudre les problèmes en ne considérant qu'un des deux champs, souvent le champ électrique E .

c) Interprétation concrète des équations de Maxwell :

Tâchons maintenant d'interpréter de manière « physique » ces relations mathématiques.

La relation (3), appelée équation de Maxwell-Gauss, montre lien entre la densité de charge volumique $\rho(t,r)$ et la variation du vecteur champ électrique $E(t,r)$. Elle parle donc de

la relation proportionnelle entre le champ électrique issu d'un matériau et la quantité de charge électrique contenue dans ce matériau.

La relation (4) « indique que le flux du champ magnétique $H(t,r)$ est nulle à travers une surface fermée² ». « Plus concrètement, elle traduit le fait que les lignes de champ magnétique ne peuvent pas diverger à partir d'un point de l'espace..³ ».

La relation (1) exprime que la variation du champ magnétique $H(t,r)$ par rapport au temps induit un champ électrique $E(t,r)$. Il s'agit en fait de la loi d'induction de Faraday.

La relation (2) montre la « réciproque » de cette loi, les variations temporelles du champ électrique $E(t,r)$ induisent un champ magnétique $H(t,r)$. On l'appelle la Loi d'Ampère.

d) La propagation électromagnétique :

En « régime dynamique » (c'est-à-dire non statique), il existe donc « une interaction mutuelle des champs électriques et magnétiques ⁴ ». Cette interaction suggère une idée fondamentale : la propagation électromagnétique. En effet, si un courant est variable par rapport au temps, il induit un champ magnétique, lui aussi variable par rapport au temps et à l'espace et qui induit lui-même un champ électrique variable temporellement et spatialement et ainsi de suite... Les champs électriques et magnétiques s'entretiennent mutuellement ! De quelle forme est cette propagation ?

En prenant les équations de Maxwell sur leur deuxième forme écrite plus haut et en utilisant le « formalisme mathématique emprunté à l'analyse vectorielle, on peut prouver qu'un champ vectoriel électrique (et/ou un champ vectoriel magnétique) vérifie l'équation des ondes de D'Alembert »⁵.

Maxwell théorise ainsi l'existence d'ondes électromagnétiques. De plus, par un raisonnement mécanique, il essaye de calculer la vitesse de déplacement de la perturbation dans le vide et trouve une valeur très proche de celle de la vitesse de la lumière. Il en conclut que la lumière est de nature électromagnétique, mais sans le vérifier expérimentalement.

² Extrait de l'article Électricité, de l'*Encyclopaedia Universalis-Figaro*, ed Figaro, Paris.

³ Dans La propagation des ondes électromagnétiques, de Raphael Gillard, INSA, Rennes.

⁴ d'ap Fred Gardiol, *Traité d'électricité, Tome III, Electromagnétisme*.

⁵ Laurent Allard.

Par ailleurs, deux de ses disciples, J.H.Poynting et O.Heaviside, en étudiant plus avant les équations mettent en évidence la densité de puissance électromagnétique, c'est-à-dire la capacité du champ électromagnétique se propageant à transporter de l'énergie et ce sans support matériel⁶.

Ces deux dernières théories ne seront pas prouvées du vivant de Maxwell, les ondes électromagnétiques seront en effet générées pour la première fois par Heinrich Hertz en 1887.

B. De la théorie à l'expérimentation : Hertz et la production des ondes électromagnétiques.

La preuve de l'existence et la production des ondes électromagnétiques, par Hertz, vient de l'association de la pensée théorique de Maxwell et de l'existence d'un dispositif technique : la bobine de Ruhmkorff.

Le montage originel d'Hertz étant l'ancêtre de nos émetteurs-récepteurs Hf, je vais en décrire ici les éléments et le fonctionnement.

1. La bobine de Ruhmkorff :

La bobine de Ruhmkorff est un dispositif de transformateur élévateur de tension: sur un cylindre, constitué d'un noyau de fer doux, on enroule un fil de cuivre assez gros (environ 2 mm), relié aux deux bornes d'une pile. Au-dessus de ce premier bobinage, on place une couche d'isolant. Puis, on met un deuxième bobinage, constitué lui aussi d'un fil de cuivre, mais plus fin (de l'ordre du dixième de mm), et relié à deux bornes (deux supports isolés) où l'on viendra « récupérer » les courants induits.

⁶ c'est le Théorème de Poynting.

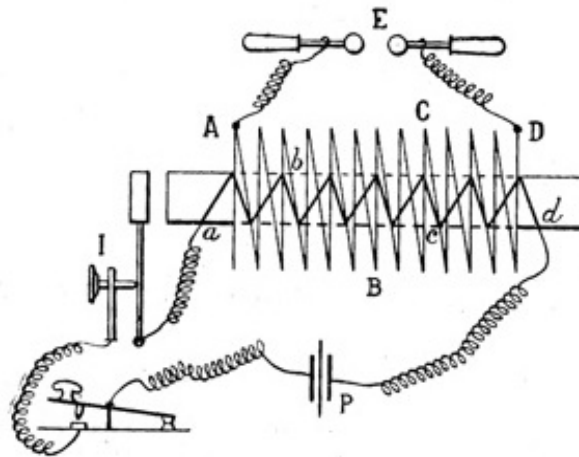
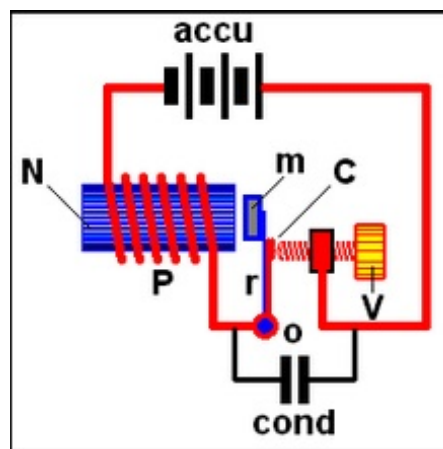


FIG. 199. — Vue d'ensemble de la bobine de Ruhmkorff.

Dans le montage, on trouve en outre le « trembleur », ou encore « vibreur ». C'est un interrupteur (I sur le schéma) dont la fonction est de créer un courant variable à partir d'un courant continu. Il interrompt et relance le courant dans le circuit primaire (premier bobinage). Pour cela, il est constitué d'un contact c et d'une lame ressort, r, posée contre le contact c et ayant à son extrémité un morceau de matériau magnétique m.



Comme on le voit sur le schéma ci-dessus, cette lame ressort est placée à proximité du noyau de fer doux.

Voici ce qui se passe : lorsque la pile délivre une tension dans le primaire, celle-ci passe sur le noyau à travers les spires du premier bobinage, induisant alors un champ magnétique autour du noyau. Ce champ induit lui-même une tension dans le circuit secondaire (deuxième bobinage). De plus, il attire le morceau de matériel magnétique de la lame ressort, qui s'écarte alors du contact : le courant s'interrompt dans le primaire et il y a création d'une étincelle entre les deux bornes du secondaire (deuxième bobinage) : à la

rupture, la tension dans le secondaire est donc très élevée. L'interruption provoque la disparition du champ magnétique du noyau et la lame ressort reprend sa position initiale, permettant de nouveau au courant de circuler. Et ainsi de suite... On produit ainsi des oscillations électriques amorties. La valeur de la tension obtenue aux bornes du secondaire dépend du rapport entre le nombre d'enroulements du primaire et ceux du secondaire, c'est le rapport de transformation.

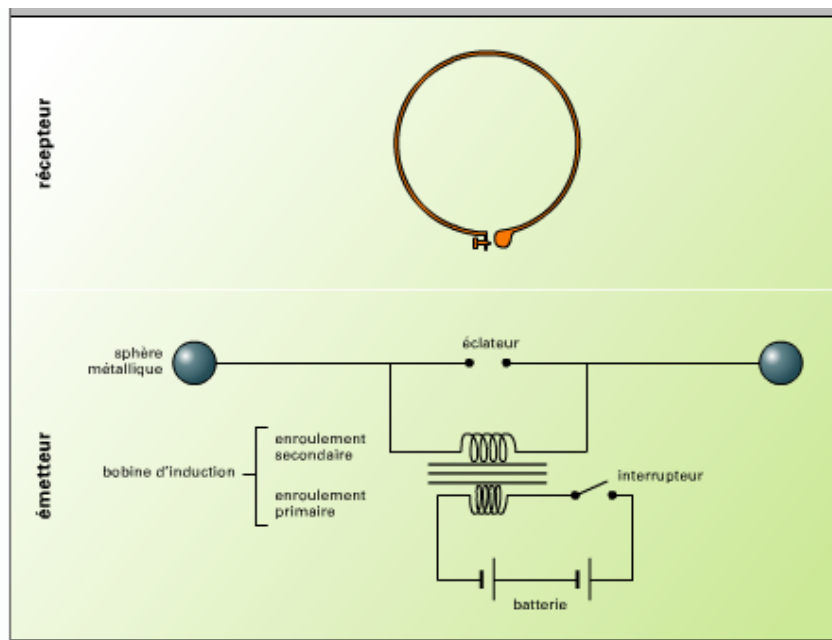
Cet outil qu'est la bobine de Ruhmkorff est révolutionnaire à l'époque car il permet d'obtenir des tensions de l'ordre du millier ou de la dizaine de milliers de Volts.

2. Le montage d'Heinrich Hertz :

Hertz va aller plus loin, étudiant ces étincelles produites par la bobine.

a) Émetteur

En plus de la bobine de Ruhmkorff, le montage (le plus connu) d'Hertz comprend deux sphères métalliques reliées l'une à la borne positive du secondaire et l'autre à la borne négative.



De chacune de ces deux sphères part une tige conductrice et les deux tiges se rejoignent mais sans jamais se toucher. L'écart entre leurs extrémités est appelé l'éclateur. Comme nous l'avons vu précédemment, lorsque la tension induite dans le secondaire devient suffisamment élevée, une étincelle apparaît dans l'éclateur. C'est alors, qu'Hertz

remarque qu'au lieu de se « décharger » les deux sphères présentent « des charges inverses à celles qu'elles présentaient d'abord : celles-ci provoqueront une nouvelle décharge et, ainsi de suite, il se produira une série d'oscillations entre les deux sphères {...} C'est une sorte de diapason électrique »⁷. Ce « diapason » électrique est un fait un oscillateur, dont on peut calculer « la fréquence des oscillations à partir de la capacité et de l'inductance du circuit »⁸.

Nous verrons plus loin que l'oscillateur est un élément central du dispositif permettant de créer des ondes électromagnétiques.

b) Récepteur :

Et les ondes électromagnétiques dans tout ça d'ailleurs ?! L'autre partie du montage de l'expérience d'Hertz est le récepteur. Il s'agit d'une boucle de cuivre, d'une trentaine de centimètres de rayon, et portant à ces extrémités deux boules de laiton dont l'écart est réglable. Ce réglage permet « d'accorder » le récepteur à l'émetteur. Hertz constate que lorsqu'une étincelle est produite entre les deux sphères de l'émetteur, une étincelle se produit presque instantanément entre les deux boules du récepteur ! Et ce même lorsque le récepteur est distant de 50 mètres, et malgré des obstacles entre les deux ! Les ondes électromagnétiques dont Maxwell suggéraient l'existence théoriquement existent donc bien dans la pratique.

Il va alors étudier, pendant les 7 années qui lui restent à vivre, la nature de ce rayonnement. À l'aide de différents dispositifs expérimentaux, Hertz (et d'autres scientifiques qui reprennent son montage) va démontrer que ce rayonnement a des propriétés de réflexion, de réfraction, de polarisation ... En calculant sa vitesse de propagation, il trouve celle de la lumière.

Il y a donc une « correspondance complète entre les ondes électromagnétiques et les ondes lumineuses »⁹ : Maxwell avait raison.

c) Le spectre électromagnétique:

La lumière n'est qu'une infime partie de ce que l'on appelle le spectre électromagnétique. Ce spectre est extrêmement large, en théorie il est même infini. Il

⁷ extrait d'un texte d'Heinrich Hertz publié dans *Les Archives de Genève*, (1889), in *Une histoire de l'électricité*, Gérard Borvon, ed Vuibert.

⁸ *Op. cit.*

⁹ extrait de l'article *Hertz*, de Georges Kayas, *Encyclopaedia Universalis*

comprend aussi bien la lumière visible, que les rayons X et ce qui est communément appelé « les ondes hertziennes ».

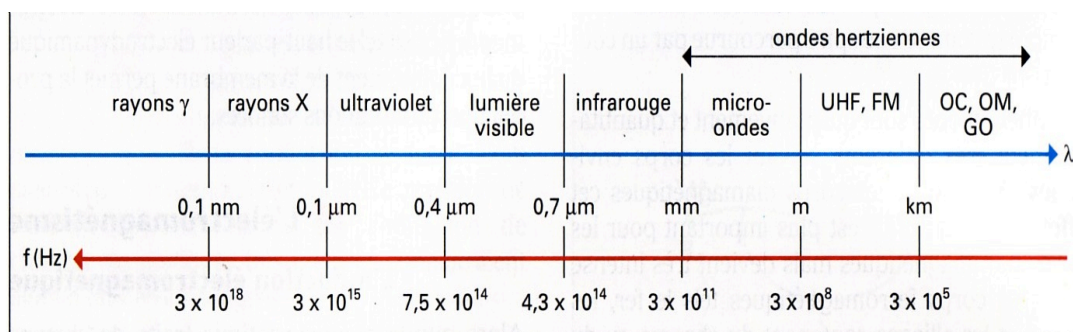


Schéma du spectre électromagnétique (Encyclopaedia Universalis/Figaro)

C'est cette dernière catégorie, elle-même découpée en plusieurs bandes, qui va nous intéresser puisqu'elle est le siège des ondes utilisées en transmission radio.

NOM	Fréquences	Longueurs d'onde	
ELF: Extremely Low Frequency	30 à 300 Hz	10^6 à 10^5 m	
VF: Voice Frequencies	300 à 3000 Hz	10^5 à 10^4 m	
VLF: Very Low Frequencies	3 à 30 kHz	10^4 à 10 000 m	
LF : Low Frequencies	30 à 300 kHz	10 000 à 1000 m	Radiodiffusion <i>ondes longues</i> (150 à 275 kHz)
MF: Medium Frequency	300 kHz à 3 MHz	1000 à 100 m	Radiodiffusion <i>ondes moyennes</i> (520 à 1605 kHz)
HF : High Frequencies	3 à 30 MHz	100 m à 10 m	Radiodiffusion <i>ondes courtes</i>
VHF : Very High Frequencies	30 à 300 MHz	10 à 1 m	Radiodiffusion en <i>modulation de fréquence</i> (FM: 88 à 108 Mhz)
UHF: Ultra High Frequencies	300 MHz à 3 GHz	1 à 0,1 m	Certaines bandes de télévision et <i>micros-émetteurs professionnels</i>
SHF: Super High Frequencies	3 à 30GHz	1 cm à 10^{-2} m	
EHF: Extremely High Frequencies	30 à 300 GHz	10^{-2} à 10^{-1} m	

Tableau des Bandes d'ondes hertziennes¹⁰

¹⁰ d'après *Structure et applications des émetteurs et des récepteurs*, Robert Du Bois, Presses polytechniques et universitaires romandes, 1996

Le spectre radio étant considéré appartenant au domaine public de l'Etat et les utilisations de ce que j'appellerai maintenant les ondes « radioélectriques » étant multiples, leur attribution par bandes de fréquences est régie par des traités et des réglementations, à la fois internationaux et plus « locaux ». Nous étudierons cet aspect des choses dans le paragraphe D) de cette première partie.

L'expérience d'Hertz a lieu en 1887 et si elle est à l'origine de la radio, elle sera suivie de milliers d'autres, qui permettront de mettre au point la télégraphie sans fil, puis l'émission radio, puis les systèmes émetteurs-récepteurs Hfs que nous connaissons. Toutefois, nous arrêterons ici cet historique pour nous attacher à « décortiquer » les ondes électromagnétiques, leur nature, leur propagation, afin de faire ensuite le lien avec la technologie qui nous intéresse ici.

C. Synthèse : caractéristiques des ondes électromagnétiques et de leur propagation

Dans ce troisième paragraphe, il va s'agir d'énoncer les caractéristiques des ondes électromagnétiques indispensables à la suite de l'étude de la transmission hautes fréquences et étudier leur mode de propagation.

1. Grandeurs caractéristiques :

L'onde électromagnétique qui nous intéresse ici est un phénomène périodique de type sinusoïdal, dépendant à la fois du temps t et des 3 dimensions de l'espace, x , y et z et qui se propage sans support matériel.

Elle est une onde vectorielle (elle nécessite un vecteur pour la représenter) transversale. C'est-à-dire que les points des champs électrique et magnétique qui la composent se déplacent perpendiculairement à la direction de propagation de l'onde.

Elle se propage donc dans une direction perpendiculaire aux deux champs électrique E et magnétique H (B sur le schéma), eux-mêmes perpendiculaires l'un à l'autre.

Dans le schéma ci-dessous et dans la suite de notre étude de la transmission par ondes électromagnétiques, on considèrera la direction de propagation de l'onde sur un plan horizontal (correspondant à x).

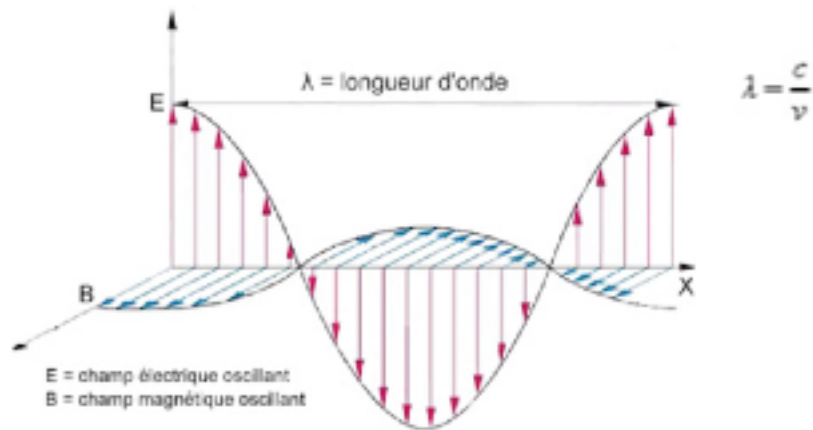


Schéma tiré du syllabus de L.Gross, Introduction aux techniques cinématographiques.

Les caractéristiques d'une onde électromagnétique sont :

- Sa vitesse de propagation, ou célérité, c , dans le vide ou dans l'air.
 $c = 3.10^8 \text{m/s} = 300000 \text{km/s}$. Elle est constante.
- Sa fréquence f , (ν sur le schéma), exprimée en Hertz (Hz) qui désigne le nombre d'oscillations de l'onde par seconde.
- Sa longueur d'onde λ , en m, qui est la distance parcourue par l'onde pendant le temps d'une oscillation.

Ces trois grandeurs sont liées entre elles par la relation $\lambda = c/f$.

- Sa pulsation ω : $\omega = 2\pi f$. On l'appelle aussi sa « vitesse angulaire ». Elle représente la vitesse de rotation de l'onde. Elle est égale à la dérivée de la phase de l'onde par rapport au temps. φ , est la phase de l'onde à l'origine, c'est-à-dire au temps initial $t=0$, à la position de départ.
- Son amplitude, qui est en fait la valeur maximum de l'intensité du champ électrique qui la compose. (Comme dit dans le paragraphe I)c) le champ magnétique pouvant être déterminé à partir du champ électrique, on considère la plupart du temps, uniquement ce dernier).
- Sa polarisation, qui est la représentation de la variation spatiale de E , dans le temps, par rapport à un plan donné. Ce plan de référence sera celui de la direction de propagation à savoir le plan horizontal. L'onde représentée ci-dessus est donc

polarisée de manière rectiligne et verticale. Une onde peut aussi être polarisée de manière circulaire (si l'extrémité du vecteur champ E, effectue un cercle dans le temps) ou de manière elliptique. On verra que cette notion de polarisation est importante, surtout dans l'étude des antennes.

2. Propagation des ondes électromagnétiques dans l'air et réaction face aux obstacles:

En théorie, dans un milieu isotrope (c'est-à-dire qui a la même composition en tous points) , une onde électromagnétique se propage en ligne droite. Cependant, le milieu de propagation est rarement ainsi (présence de murs, de reliefs naturels...). L'onde subira donc les phénomènes que l'on connaît en optique : réflexion, réfraction, interférences, effet de masque... Nous allons voir dans quelles conditions de propagation et pour quelles fréquences d'onde ces phénomènes peuvent avoir lieu.

Il convient de préciser qu'il existe plusieurs modes de propagation des ondes électromagnétiques, selon leur fréquence, la puissance à laquelle elles ont été émises et la portée d'émission que l'on souhaite obtenir. Je parlerai ici de chacun de ces modes, en m'arrêtant plus en détail sur celui qui concerne les ondes que nous utilisons dans les systèmes Hfs de plateau.

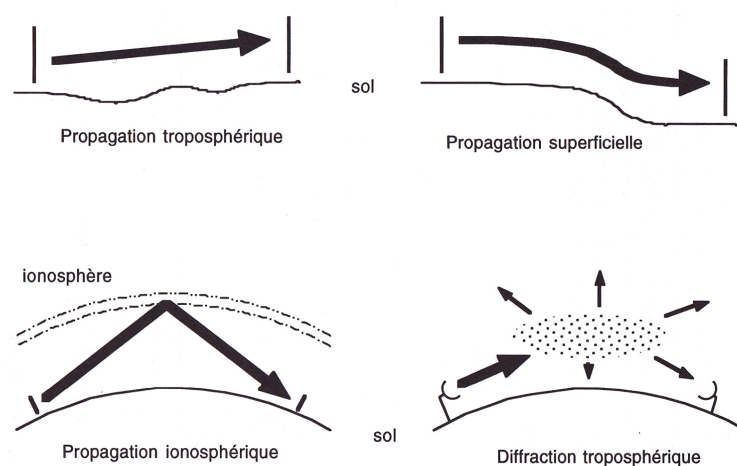


Fig. 6.1 Différents types de propagation.

Schéma des différents modes de propagation¹¹

¹¹ tiré de *Structure et applications des émetteurs et des récepteurs*, Robert Du Bois, Presses polytechniques et universitaires romandes, 1996

a) Les types de propagation :

- La propagation superficielle :

On parle de propagation superficielle lorsque l'onde se déplace en suivant le relief du sol. Pour cela il faut que les antennes d'émission et de réception soient proches du sol et verticales. En effet, la direction de propagation de l'onde est perpendiculaire à sa composante électrique et une antenne émet dans le sens de polarisation de l'onde. Dans ce mode de propagation, il peut y avoir des pertes par absorption du sol, plus importantes si la fréquence est élevée et si le sol est peu conducteur. C'est pourquoi ce mode est utilisé pour les ondes longues et moyennes (cf tableau de classification des bandes de fréquences) . Elle permet une portée jusqu'à 1000 km.

- La propagation par réflexion ionosphérique :

L'ionosphère est la couche de l'atmosphère comprise entre 40 et 1000 km d'altitude, son nom vient du fait qu'étant exposée au rayonnement solaire elle est le siège de phénomènes d'ionisation. Elle est composée de couches ionisées. Ces couches ionisées permettent de réfléchir une onde électromagnétique émise par une antenne et de la renvoyer ainsi vers une antenne réceptrice située beaucoup plus loin (bien au-delà de l'horizon optique). Les différentes couches jouent un rôle différent selon la fréquence de l'onde et elles agissent différemment selon que ce soit le jour ou la nuit, mais je ne rentrerai pas ici dans ces détails. En effet, ce type de propagation ne peut être utilisé pour les fréquences qui nous intéressent : au dessus de 30MHz, une onde traverse l'ionosphère et n'est pas réfléchi et la portée que l'on souhaite obtenir est très supérieure à celle que l'on recherche sur un plateau de tournage ! En revanche, pour la transmission par ondes courtes (fréquences entre 3 et 30MHz), ce type de propagation permet une très, très grande portée, car l'onde peut-être réfléchi plusieurs fois.

- La propagation par diffraction troposphérique :

La troposphère est la couche de l'atmosphère dans laquelle nous vivons. : c'est celle qui part du sol et monte jusqu'à une altitude de 10km. Ses particules peuvent jouer un rôle diffractant pour des ondes de fréquences situées au-dessus de 900MHz et émises avec une très forte puissance. En effet, lorsqu'il y a diffraction d'une onde, il y a perte d'énergie dans de nombreuses directions et pour que l'antenne réceptrice reçoive une

partie exploitable de l'onde émise, celle-ci doit être très puissante. Ce mode est assez peu utilisé.

- *La propagation troposphérique :*

C'est celle qui est utilisée entre autres pour les systèmes Hfs que nous utilisons sur le plateau. L'onde effectue son trajet dans la troposphère et la portée est limitée à l'horizon radio.

L'horizon radio est la distance maximale à laquelle une antenne de réception proche du sol peut recevoir le signal de l'antenne émettrice située à une hauteur H_e . On le calcule ainsi¹²:

$$D = \sqrt{2RH_e} + \sqrt{2RH_r}$$
 où R est le rayon de la terre (6366km), H_r la hauteur de l'antenne réceptrice.

Si l'on fait le calcul pour une antenne émettrice située à 1m du sol (comme celle d'un émetteur placé au niveau de la ceinture d'un comédien) et une antenne réceptrice à 1,5m (sur une roulante), on obtient un horizon radio d'environ 7km .

Cette portée théorique nous paraît énorme par rapport à la portée que nous obtenons en pratique avec un système Hf de plateau, mais c'est parce que ce calcul ne tient pas compte des phénomènes que va subir l'onde lors de sa propagation, ni de la puissance d'émission du système. En effet, dans la réalité, l'onde va être influencée par les phénomènes climatiques, le relief naturel et les obstacles artificiels.

b) Réactions des ondes face aux obstacles :

- *Réflexion :*

Le phénomène de réflexion est un phénomène que nous connaissons bien pour certaines ondes électromagnétiques : les ondes lumineuses. Elle est régie par la Loi de Descartes, qui s'applique aussi en régime ondulatoire (et pas seulement lorsque l'on considère le rayon lumineux comme une droite). Lorsqu'une onde arrive sur un obstacle, en fonction de la nature de celui-ci et de la fréquence de l'onde, elle sera plus ou moins réfléchi. Ce phénomène peut être exploité à l'avantage de la transmission de l'onde (il permet par exemple de recevoir un

¹² d'après *Structure et applications des émetteurs et des récepteurs*, Robert Du Bois, Presses polytechniques et universitaires romandes, 1996

signal sur son gsm sans être directement en regard de l'antenne émettrice) mais il y a des cas où il est un problème.

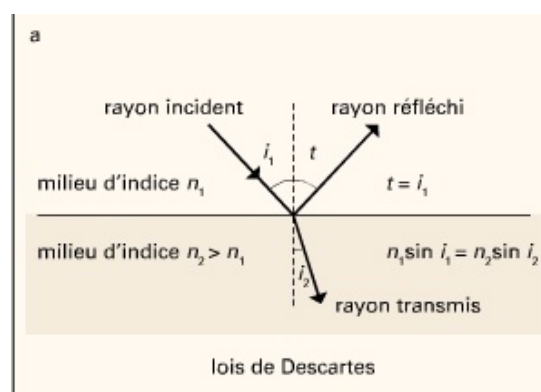
Tout dépend du rapport de phase à l'arrivée (c'est-à-dire au niveau du récepteur) entre l'onde directe et la (ou les) onde(s) réfléchi(e)s. Si elles arrivent en phase, il peut y avoir un renforcement du signal (l'amplitude augmente) mais si elles sont déphasées, on va avoir une atténuation du signal dans de plus ou moins grandes proportions (allant jusqu'à une annulation du signal dans des « nœuds » comme pour l'onde sonore).

Les métaux sont des matériaux qui agissent comme des réflecteurs sur les ondes électromagnétiques et ce, plus leur fréquence est élevée et plus l'armature est serrée. Des murs en béton armé ou des châssis métalliques peuvent donc être très gênants pour nos systèmes Hfs.

De même, les particules d'eau, sous forme de forte pluie, de brouillard ou de neige, peuvent agir ainsi et empêcher l'onde d'avancer correctement.

- Réfraction :

Lorsqu'une onde électromagnétique passe d'un milieu à un autre, elle peut être réfractée, c'est à dire déviée. L'importance de cette déviation dépend de la différence de densité des deux milieux et de la fréquence de l'onde. En effet, l'indice de réfraction d'un milieu dépend aussi de la longueur d'onde de l'onde considérée. Par exemple, l'arc-en-ciel résulte de la réfraction de la lumière du soleil : pour chaque couleur (c'est-à-dire pour chaque onde lumineuse) l'angle de réfraction est légèrement différent. Elle est elle aussi régie par la Loi de Descartes.



Crédits : 2008, Encyclopaedia Universalis France S.A.

Plus la densité d'un milieu est grande et plus l'onde électromagnétique sera déviée. De plus, une onde électromagnétique voit sa vitesse diminuer avec l'augmentation de la densité d'un milieu (c'est l'inverse de l'onde sonore !). Selon la nature de l'obstacle rencontré, notre transmission électromagnétique peut donc être ralentie.

- *Diffraction :*

Un obstacle sur le chemin d'une onde électromagnétique peut la diffracter, c'est-à-dire la disperser en de nombreuses directions, induisant une perte d'énergie et de multiples ondes réfléchies. Mais pour cela, il faut que la longueur d'onde et la dimension de l'objet soient du même ordre de grandeur. On utilise ce phénomène positivement pour la détection par radar par exemple.

Les ondes de la bande UHF ont des longueurs d'onde comprises entre 1m et 10cm, elles ne sont pas diffractées par des obstacles comme les maisons ou les collines.

- *Absorption, effet de masque :*

En revanche, quand l'onde électromagnétique rencontre un obstacle, si celui-ci est grand par rapport à la longueur d'onde alors il peut agir comme un écran, ou un masque, créant une zone d'ombre autour de lui. Une partie de l'énergie est absorbée, selon la fréquence de l'onde, la nature et l'épaisseur de l'obstacle, ce qui induit une baisse de l'amplitude.

- *Atténuation en fonction de la distance :*

Cette atténuation de puissance d'un signal est bien connue dans la théorie acoustique de l'étude des ondes sonores : elle est proportionnelle au carré de la distance parcourue. Elle s'applique aussi, dans le cas des ondes électromagnétiques à la puissance de rayonnement de l'antenne. « En espace libre, la densité de puissance rayonnée décroît de façon inversement proportionnelle au carré de la distance »¹³. En fonction de la longueur d'onde (plus celle-ci est grande, moins l'atténuation sera rapide) et de la distance entre l'antenne émettrice et l'antenne réceptrice, on aura une atténuation plus ou moins importante.

- *Phénomènes d'interférences entre ondes:*

Nous l'avons vu précédemment, il peut y avoir un phénomène d'interférences entre une onde directe et une onde réfléchie selon leur rapport de phase à l'arrivée, ces interférences

¹³ Extrait de l'article *Antenne*, de J.C.Bolomey, *Encyclopaedia Universalis*.

peuvent aussi exister entre deux ondes différentes mais de fréquences proches. Nous reviendrons plus en détails sur ces phénomènes dans le paragraphe C) de cette partie.

On le voit bien, tous ces phénomènes sont plus ou moins liés entre eux et peuvent parfaitement influencer simultanément la propagation d'une onde électromagnétique. Lorsqu'elle arrivera sur un obstacle, une partie de son énergie sera réfléchie, une partie absorbée et une partie transmise, tout cela étant fonction de la nature de l'obstacle et de la fréquence de l'onde.

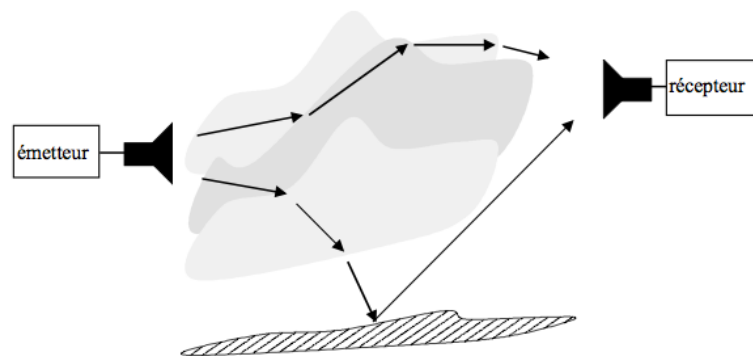


Schéma montrant différentes directions qu'une onde peut prendre lors de son trajet entre l'émetteur et le récepteur, à travers un milieu de propagation

Nous aurons l'occasion de revenir sur ces différents phénomènes lorsque nous aborderons la technologie des émetteurs-récepteurs et les interférences qui peuvent arriver lors de leur utilisation.

Maintenant que les grandes lignes de la théorie des ondes électromagnétiques ont été définies, attachons-nous à décrire le fonctionnement des transmissions d'un signal audio grâce au support que sont ces ondes.

II. Principes de la technologie de la transmission d'un signal audio en « Hautes Fréquences »

A. Contraintes qui ne permettent pas d'émettre tel quel le signal audio

Dans ce paragraphe, nous allons tenter d'établir pourquoi un signal audio n'est pas transmis par une onde électromagnétique dans sa « gamme » de fréquences. Il y a plusieurs raisons à cela.

Si l'on considère la bande passante de la voix humaine par exemple, qui est définie le plus généralement comme allant de 50Hz à 15kHz, cela donne des longueurs d'onde de 6000 km à 20000 m. D'après ce que nous avons vu dans le A)b)2), une onde de grande longueur d'onde (ou de BF, Basse Fréquence) sera plus sensible au phénomène de diffraction par des obstacles tels que des maisons, des collines ou des montagnes. Voilà déjà une raison de ne pas l'émettre « tel quel ».

D'autre part, un signal comme la voix, étant un signal BF, va s'atténuer plus rapidement avec la distance qu'un signal HF. Pour transmettre un tel signal, à de grandes distances, il faudrait une puissance d'émission considérable !

Et si ce cas était envisageable, nous ne pourrions mettre qu'un seul émetteur dans une zone d'émission donnée. En effet, imaginons deux émetteurs transmettant chacun une voix, ils transmettent certes deux signaux différents mais qui se trouvent dans la même bande de fréquences, il y aura alors beaucoup d'interférences entre les deux et comment le récepteur 1 pourra t'il faire la différence entre le signal émetteur 2 et le 1 ?

Enfin, la dernière contrainte (et pas la moindre) est d'ordre technologique. Pour un signal attaquant une antenne, la dimension de l'antenne est d'autant plus petite que la fréquence est élevée. Car si la longueur l de l'antenne est correctement adaptée à la longueur d'onde λ de l'onde à émettre (dans un rapport $l = \lambda/2$ ou $l = \lambda/4$) alors l'émission sera « optimale ». Si je reprends mes exemples de 50Hz et 15kHz, il faut donc des antennes gigantesques ! Dans la pratique, l'adaptation d'une antenne à un signal est plus complexe que cela mais nous y reviendrons dans le paragraphe consacré aux antennes.

Pour toutes ces raisons, on va donc transposer le signal audiofréquence BF en un signal audiofréquence HF, grâce aux techniques de modulation.

B. Les techniques de modulation :

Le principe de la transmission par modulation est le suivant : le signal à émettre (ici un signal audiofréquence) va être transmis grâce à une haute-fréquence appelée porteuse, dont il va moduler l'une des caractéristiques, son amplitude (c'est la modulation d'amplitude, AM), sa fréquence (modulation de fréquence, FM) ou encore sa phase. C'est pourquoi nous appellerons le signal à transmettre, le signal modulant.

Dans l'émetteur, l'opération de modulation a lieu, le signal modulé ainsi créé est ensuite amplifié puis émis et dans le récepteur, il est démodulé, afin de retrouver le signal originel.

Il existe plusieurs techniques de modulation, chacune ayant ses avantages et ses inconvénients. Nous allons voir deux grandes techniques différentes de modulation analogique et une numérique en mettant l'accent sur celles utilisées dans les systèmes Hfs que nous avons sur les plateaux de tournage.

1. La modulation d'amplitude :

Comme son nom l'indique, dans cette technique, le signal modulant F va modifier l'amplitude d'une porteuse F_p . Ses variations vont en quelque sorte « être codées » par celles de l'amplitude du signal modulé obtenu.

a) Principe :

Prenons l'exemple où le signal modulant est un signal « pur » à une seule fréquence. Sur le schéma ci-dessous, nous pouvons voir l'allure de ce signal, l'allure de la porteuse avant et après modulation.

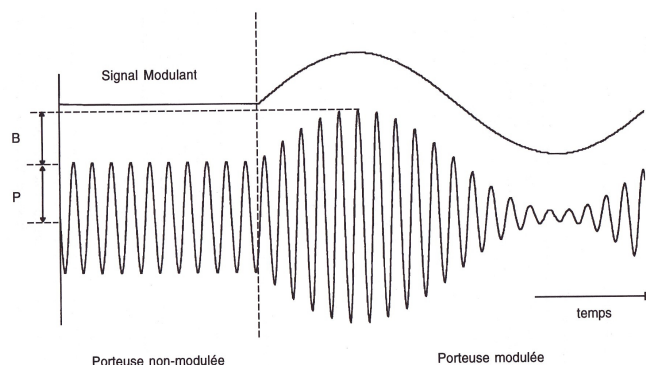


Fig. 4.3 Forme des signaux.

Schéma du signal modulant, de la porteuse et du signal modulé obtenu.¹⁴

¹⁴ d'après *Structure et applications des émetteurs et des récepteurs*, Robert Du Bois, Presses polytechniques et universitaires romandes, 1996

La lettre P , désigne l'amplitude de la porteuse non modulée et la lettre B est la variation de l'amplitude de la porteuse due à la modulation. Le rapport B/P , est appelé le taux de modulation et désigné par la lettre k . Il représente la variation de l'amplitude de la porteuse au « rythme » du signal modulant. Afin d'éviter de la distorsion à la réception, k doit toujours être inférieur ou égal à 1, mais il ne doit pas non plus être trop petit, sinon le signal sera inintelligible.

Lorsque l'on module une porteuse par un signal, il y a apparition, de part et d'autre de la fréquence porteuse, de nouvelles fréquences, ce sont les fréquences latérales. Si l'on regarde l'allure du spectre du signal modulé, on voit ainsi qu'il apparaît deux fréquences latérales d'amplitude $B/2$ et de fréquence $F_p - F$ et $F_p + F$.

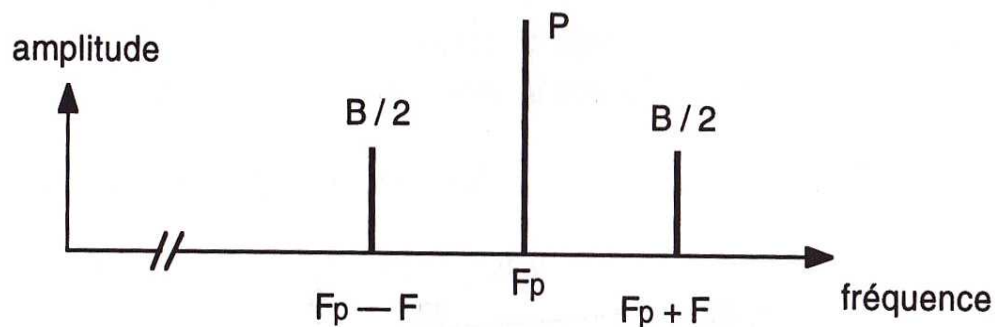


Fig. 4.4 Spectre d'un signal modulé en amplitude.

Schéma tiré de Structures et applications...

F_p , d'amplitude P , ne dépend pas du signal modulant. En revanche, les deux fréquences latérales sont des composantes du signal modulé qui dépendent du signal originel : ce sont elles qui portent l'information à transmettre !

Allure d'un signal modulé en amplitude par une voix :

Intéressons-nous maintenant à la modulation par un signal complexe, c'est-à-dire comportant de nombreuses fréquences $F_1, F_2, F_3 \dots F_{\max}$, (la voix est un exemple parfait). Dans ce cas-là, il va y avoir création de nombreuses composantes latérales, de fréquences égales à $F_p \pm F_1, F_p \pm F_2, F_p \pm F_3$, etc..., jusqu'à $F_p \pm F_{\max}$. Le signal modulant étant un signal complexe, chacune de ses composantes varient à chaque instant en fréquence et en amplitude, on va obtenir un spectre continu. Les fréquences latérales sont donc regroupées en une bande

latérale inférieure et une bande latérale supérieure, qui portent le « codage » du signal à transmettre. Le spectre du signal modulé a cette allure :

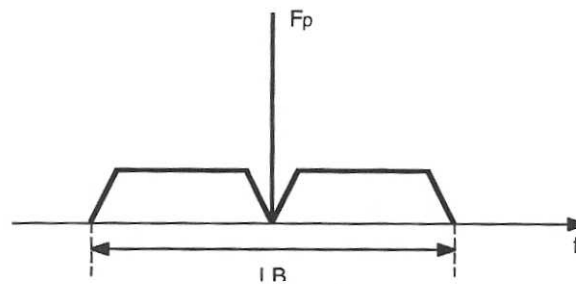


Schéma du spectre du signal modulé en amplitude par un signal complexe¹⁵

Les deux barres à l'extrémité des bandes latérales correspondent aux fréquences $F_p + F_{\max}$ et $F_p - F_{\max}$.

Largeur de bande :

On voit bien sur le schéma précédent qu'afin de transmettre correctement un signal modulant composés de fréquences $F_1, F_2, F_3 \dots F_{\max}$, il faut disposer d'une largeur spectrale d'au moins $2 \times F_{\max}$ pour le signal modulé.

On appelle cette largeur spectrale, la largeur de bande d'émission. Elle est réglementée par des accords internationaux, afin de permettre de nombreuses transmissions différentes sur un même territoire. Nous verrons cela dans le paragraphe D) consacré au cadre législatif de l'émission et de l'attribution des plages de fréquences. Nous pouvons déjà dire que la largeur de bande autorisée pour la modulation d'amplitude est de 9kHz (en Europe) ou 10kHz (aux Etats-Unis).

Cette notion de largeur de bande d'émission maximale est importante car elle joue sur le type et la qualité du signal à transmettre. Ainsi, en Europe en modulation d'amplitude, on peut transmettre au mieux un signal dont la fréquence maximale est de 4,5kHz ! Pour certains signaux à transmettre, par exemple la voix, il va donc falloir réduire leur bande de fréquence avant modulation et ainsi réduire leur qualité, tout en restant dans le domaine de l'intelligibilité.

Il existe un autre type de modulation d'amplitude, qui permet de transmettre sur une largeur de bande moins grande : c'est la modulation à bande latérale unique (BLU). Elle

¹⁵ d'après *Structure et applications des émetteurs et des récepteurs*, Robert Du Bois, Presses polytechniques et universitaires romandes, 1996

repose sur deux constatations : la porteuse ne contient pas l'information à transmettre et les deux bandes latérales transmettent la même information. Pourquoi alors ne pas émettre un signal modulé ne contenant ni la porteuse, ni une des deux bandes latérales ? On a alors besoin d'un spectre de transmission moins large et de moins de puissance d'émission. Mais cette technique demande une conception des émetteurs et des récepteurs plus complexes et la qualité du son est moins bonne, elle ne sera donc utilisée que dans le cas où seule l'intelligibilité compte ainsi que la possibilité d'avoir de nombreux utilisateurs dans la même bande de transmission.

Puissance d'émission :

Si l'on cherche à déterminer la puissance moyenne émise en modulation d'amplitude par un signal complexe, on voit que celle-ci dépend de la puissance de la porteuse émise sans modulation mais aussi des multiples taux de modulation k , k_1 , k_2 , k_3 ... de chacune des fréquences composant le signal modulant. La puissance d'émission en modulation d'amplitude n'est donc pas constante ! Elle varie dans le temps et est maximale lorsque la modulation est maximale (c'est-à-dire lorsqu'il y a une grande variation d'amplitude).

b) Domaines d'applications :

La technique de la modulation d'amplitude est utilisée pour la radiodiffusion en ondes longues, moyennes et courtes, ce qui correspond aux fréquences LF, MF et HF (cf. tableau des bandes ondes hertziennes p 16.) La radio *La Première* de la RTBF est par exemple diffusée en AM sur la fréquence 621 kHz.

c) Avantages et inconvénients :

L'avantage d'une émission en modulation d'amplitude est sa grande portée, puisqu'elle utilise les ondes longues jusqu'à courtes. Comme nous l'avons vu dans le A) III.b)1), ces types d'ondes sont moins sensibles à la réflexion par les métaux, et ont une atténuation en fonction de la distance moins rapide. De plus, elles peuvent être transmises grâce à la propagation superficielle (par onde de sol) et par réflexion ionosphérique.

Par ailleurs, le procédé de modulation est « assez » facile technologiquement parlant à mettre en œuvre. C'est pourquoi c'est le premier type de transmission radiophonique qui a été utilisé. Toutefois, avec l'évolution de la technologie, très vite d'autres procédés beaucoup plus avantageux en matière de qualité de retransmission ont été inventés.

Les inconvénients de ce type de modulation (outre la piètre bande passante du signal) découlent aussi de la propagation des ondes électromagnétiques. En effet, lorsqu'une onde en rencontre une autre, les effets qui peuvent se produire (somme, annulation...) modifient principalement l'amplitude de l'onde ! Le signal modulé dont l'amplitude sert à transmettre l'information risquera donc d'arriver au récepteur avec de multiples modifications de cette dernière, qui ne sont pas liées à la nature du signal modulant originel mais à tous les parasites (autres ondes) rencontrés en chemin. Ces parasites que l'on nomme « bruits » sont plus faibles à haute fréquence. Sur le schéma ci-dessous, on peut voir comment ils se répartissent en fonction de leur puissance et de leur fréquence.

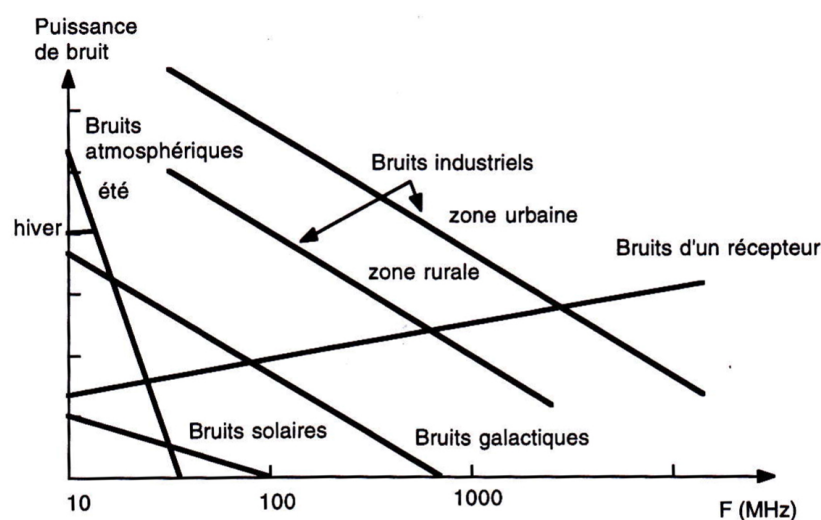


Fig. 7.1 Sources de bruit.

Schéma des sources de bruits¹⁶

Pour toutes ces raisons, la modulation d'amplitude n'est pas utilisée lorsqu'on cherche une retransmission de grande qualité sonore.

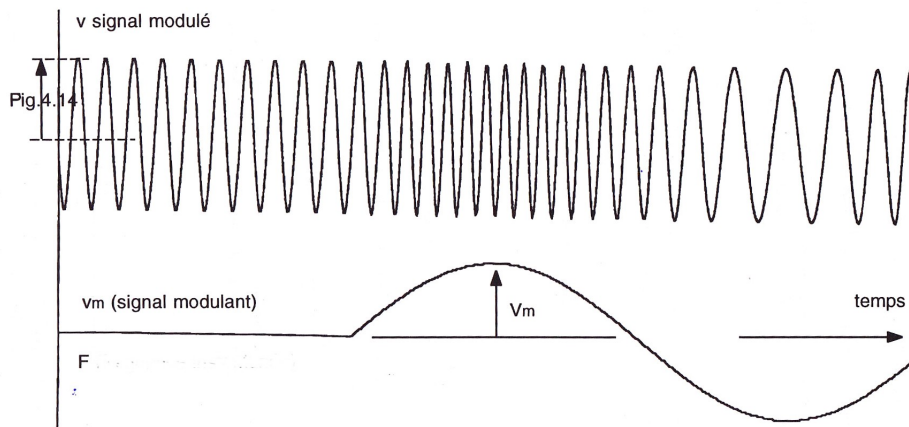
2. La modulation de fréquence :

Dans cette technique (mise au point dans les années 1930), ce n'est pas l'amplitude de la porteuse que le signal à transmettre va moduler mais sa fréquence.

¹⁶ d'après *Structure et applications des émetteurs et des récepteurs*, Robert Du Bois, Presses polytechniques et universitaires romandes, 1996

a) Principe :

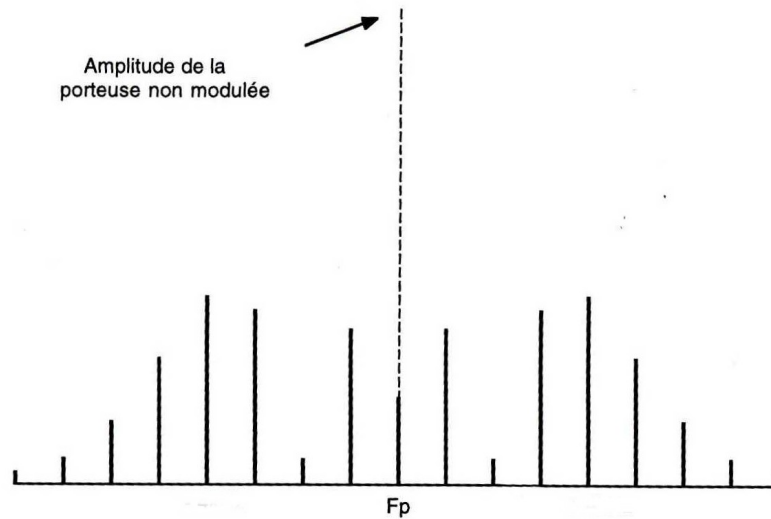
Prenons de nouveau l'exemple d'un signal modulant simple (à une fréquence F) et regardons sur le schéma suivant, l'allure du signal modulant et du signal modulé obtenu en fonction du temps.



Signal modulant et signal modulé en fréquence¹⁷

On le voit bien les variations d'amplitude du signal modulant modifient la fréquence du signal modulé. La porteuse modulée résultante comporte donc de nombreuses fréquences situées entre un minima $F_{m_{\min}}$ et un maxima $F_{m_{\max}}$ déterminés par l'amplitude crête (valeur maximum en positif ou en négatif par rapport au niveau 0, de l'amplitude) du signal modulant. Ces fréquences, d'amplitude variable, sont situées symétriquement de part et d'autre d'une fréquence centrale F_p (celle de la porteuse non modulée), on les appelle (comme en modulation d'amplitude) les fréquences latérales. Voyons ci-dessous le spectre d'une onde modulée en fréquence :

¹⁷ d'après *Structure et applications des émetteurs et des récepteurs*, Robert Du Bois, Presses polytechniques et universitaires romandes, 1996



Spectre d'une onde modulée en fréquence¹⁸

Les fréquences latérales ont des valeurs égales à $F_p \pm F$, $F_p \pm 2F$, $F_p \pm 3F$, $F_p \pm 4F$... Le nombre de ces fréquences dépend de l'amplitude du signal modulant. Un signal audiofréquence de grande dynamique va énormément moduler la fréquence porteuse et le signal modulé résultant comportera de nombreuses fréquences différentes.

Allure d'un signal modulé en fréquence par une voix :

Lorsque la porteuse est modulée par un signal complexe comme la voix, le même phénomène se produit qu'en modulation d'amplitude, il y a fusion des fréquences latérales et de la porteuse et le spectre du signal modulé devient un spectre continu.



Schéma tiré de *Wireless Microphone Technology*, Audio Technica.

¹⁸ d'après *Structure et applications des émetteurs et des récepteurs*, Robert Du Bois, Presses polytechniques et universitaires romandes, 1996

Excursion de fréquence et Largeur de spectre d'émission :

L'écart entre la fréquence maximale $F_{\max}$ (ou minimale) de l'onde modulée et la fréquence centrale F_p , s'appelle l'excursion (ou déviation) de fréquence Δf . Comme $F_{\max}$ et $F_{\min}$ dépendent de l'amplitude du signal modulant, Δf aussi. Plus le signal à transmettre a une amplitude élevée et plus Δf sera grande. Or, cette excursion de fréquence détermine aussi la largeur du spectre d'émission selon la formule suivante : $2(\Delta f + F_{\max})$ où $F_{\max}$ est la fréquence maximale présente dans le signal modulant.

Afin que de nombreux utilisateurs puissent profiter du spectre électromagnétique l'excursion de fréquence est réglementée par les autorités. En France, l'excursion maximale autorisée pour un émetteur de radiodiffusion en modulation de fréquence est de 75kHz. Les émetteurs que nous utilisons sur les plateaux ont quant à eux, une excursion de fréquence de 40kHz ou 56kHz selon les modèles (voir les documentations des constructeurs). Pour d'autres domaines de communications utilisant la MF, cette excursion peut être plus petite si la qualité sonore demandée moins importante. Elle peut-être de 2,5, 5 ou 15kHz.

Largeur de bande d'émission :

Si l'on reprend la dernière formule ci-dessus, pour un signal audiofréquence allant jusqu'à 15kHz, la largeur du spectre d'émission en modulation de fréquence est donc de 110 kHz si $\Delta f = 40\text{kHz}$, 142kHz si $\Delta f = 56\text{kHz}$ et 180Hz si $\Delta f = 75\text{kHz}$.

Il est important de distinguer le spectre d'émission qui est la représentation de l'onde modulée et la largeur de bande d'émission. Cette dernière est plus large que le spectre théorique et elle est réglementée, afin que plusieurs radios puissent cohabiter sans interférer les unes avec les autres par exemple. Selon les conventions internationales, la largeur de bande d'émission radiophonique en MF est de 200 à 300 kHz (car la largeur du spectre est de 190Hz pour un signal à 20kHz de fréquence max). Nous reviendrons sur cette notion de largeur de bande lorsque nous parlerons des précautions à prendre afin de pouvoir utiliser plusieurs émetteurs-récepteurs sur un plateau.

Puissance d'émission :

La puissance d'émission dépendant de l'amplitude du signal modulé émis, elle n'est pas constante en AM mais en revanche, elle l'est en modulation de fréquence.

b) Domaines d'application

Le domaine le plus connu dans lequel la modulation de fréquence est utilisée est bien sûr la radio « FM ». En Belgique et en France, ce sont les bandes de fréquences de 87Mhz à 108 MHz qui sont réservées à cette application. Mais cette technique a aussi de nombreuses autres utilisations dans les services publics par exemple : communications pour la police, les pompiers, les ambulances, les taxis... Et c'est aussi sur le principe de la modulation de fréquence que nos émetteurs-récepteurs analogiques de plateau fonctionnent. Pour ces derniers, historiquement ils fonctionnaient dans les bandes de fréquences VHF, mais de nos jours ils utilisent les bandes de fréquences dans la gamme des UHF.

c) Avantages et inconvénients

Les avantages de la modulation de fréquence sont l'inverse des inconvénients de la modulation d'amplitude : bande passante plus large, meilleur rapport signal sur bruit, meilleure résistance aux interférences.

Les inconvénients sont, la relative complexité technologique des modulateurs et démodulateurs des émetteurs et des récepteurs (nous le verrons dans le paragraphe B)III.), ainsi qu'une portée d'émission moins grande. La grande largeur du spectre de l'onde modulée, qui est un gage de qualité peut aussi être un inconvénient lorsqu'il est nécessaire de faire cohabiter plusieurs systèmes émetteurs-récepteurs dans un même lieu.

Néanmoins pour les émetteurs-récepteurs de plateau, la MF est un des procédés analogiques de modulation les plus avantageux en terme de rapport qualité de reproduction/technologie à mettre en œuvre. Seule la technique de modulation numérique peut prétendre actuellement la dépasser.

3. Les modulations numériques QPSK et QAM :

Les modulations numériques sont basées sur une modulation de la phase et/ou de l'amplitude de deux sous-porteuses en quadrature de phase par un signal modulant composé de bits. Le signal audio analogique d'origine est converti en un signal numérique dans l'émetteur, puis reconverti en analogique dans le récepteur.

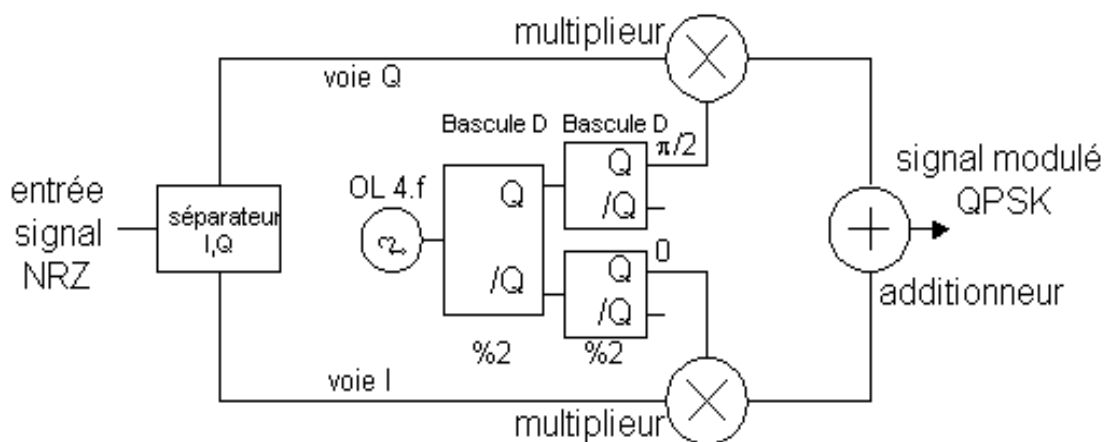
a) Principe :

L'acronyme QPSK signifie « Quadrature Phase Shift Keying », c'est-à-dire une modulation par « déplacement en quadrature de phase ». Elle met en jeu deux sous-porteuses de même fréquence f , déphasées de 90° et un signal modulant composé de n bits.

Pour chacune de ces sous-porteuses, il se passe l'opération suivante : à chaque changement d'état binaire du signal modulant, il y a un déplacement de phase de la porteuse. Le nombre de changements d'états binaires dépend du nombre de bits qui constituent le signal. Ainsi un mot de 2 bits, peut prendre $N = 2^2 = 4$ états binaires. Il faudra le coder par 4 changements de phase pour pouvoir le transmettre.

Les deux sous-porteuses sont modulées indépendamment comme suit. Le signal modulant est appliqué à l'entrée d'un séparateur qui va envoyer une partie des bits (les bits impairs par exemple) moduler la phase d'une des sous-porteuses (voie I sur le schéma) et l'autre partie (les pairs) moduler la phase de la deuxième sous-porteuse (voie Q). Les deux signaux modulés ainsi obtenus sont ensuite additionnés et nous obtenons le signal modulé QPSK, de fréquence f . L'opération inverse a lieu dans le récepteur.

On peut voir ci-dessous le schéma type du modulateur QPSK :



(signal NRZ= type de codage numérique : les 0 sont codés par un niveau bas et les 1 par un niveau haut.)

Schéma tiré de l'atelier *le Hf numérique Zaxcom et son environnement*, par Areitec

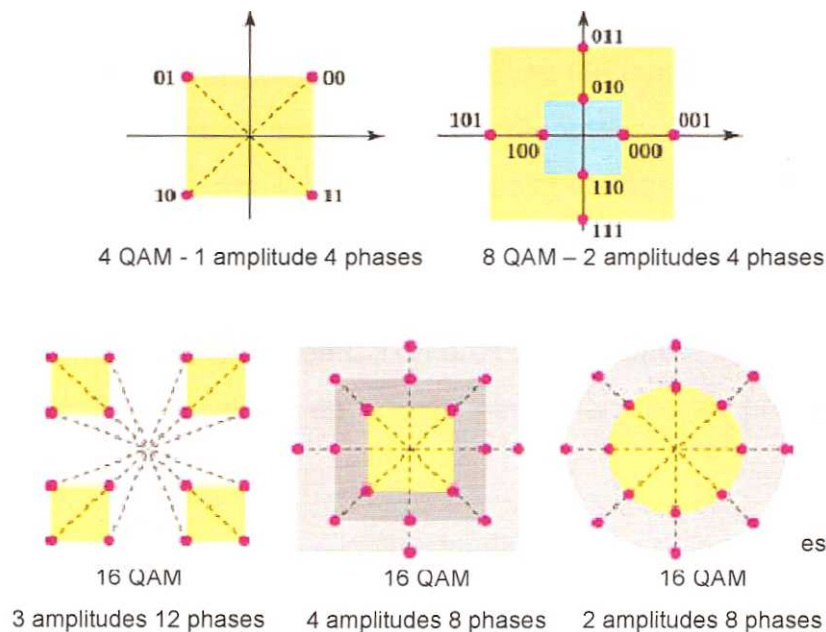
L'avantage de ce type de modulation est qu'il est possible de transmettre deux fois plus d'informations que si l'on modulait une seule porteuse.

La modulation QPSK est en fait la modulation la plus « basique » des modulations numériques en quadrature de phase. Elle fait partie d'un ensemble : les modulations QAM (Quadrature Amplitude Modulation). Une modulation QAM combine une modulation de

phase et une modulation d'amplitude de chacune des sous-porteuses. Elle permet ainsi de transmettre plus de bits par seconde.

En effet, si la porteuse peut par exemple prendre valeurs d'amplitude et 4 valeurs de phase, alors cela signifie 8 états de modulation possibles.

Les combinaisons possibles en modulation QAM sont représentées par une constellation de points dont l'éloignement par rapport à l'origine indique l'amplitude et son angle le décalage de phase :



Différents exemples de constellations

On le voit sur la constellation en haut à gauche, la QPSK est en fait une modulation QAM d'ordre 4 : codage par 1 valeur d'amplitude et 4 valeurs de phase.

Plus l'on va augmenter l'ordre de la modulation QAM et plus le débit sera important mais plus le nombre de bits transmis par seconde est grand et plus il y a un risque d'erreur binaire.

De plus, l'augmentation du débit engendre aussi une augmentation de la largeur du spectre d'émission. À titre d'exemple, un signal numérique à 24bits, 96 kHz nécessite un spectre d'émission théorique de l'ordre du MHz. Or, comme pour la FM, le spectre d'émission maximal est limité à 200 kHz. Les systèmes émetteurs- récepteurs numériques effectuent donc en plus une compression des données (sans pertes pour les émetteurs- récepteurs de plateau) avant la modulation afin de pouvoir transmettre un plus grand nombre d'informations sur un même nombre de bits.

b) Domaines d'application :

Les modulations numériques sont utilisées dans les transmissions internet. Un modem ADSL par exemple peut-être basé sur une modulation QAM d'ordre 256. La Télévision numérique HDTV utilise aussi des modulations 64-QAM à 256-QAM.

Certains systèmes émetteurs-récepteurs de plateau, comme ceux de la marque Zaxcom utilisent aussi ce type de modulation.

c) Avantages et inconvénients :

Un signal modulé numérique présente une meilleure « robustesse ». En effet, il ne peut pas subir les effets de l'intermodulation. De plus, les systèmes numériques incluent une correction d'erreurs.

D'autre part, on peut noter que la bande passante d'un émetteur-récepteur Hf numérique est constante quelque soit le niveau du signal modulant.

Enfin, il n'y a pas de notion de dynamique en transmission numérique, ce qui enlève à ces systèmes la nécessité de faire un certain nombre de traitements sur le signal indispensables en transmission analogique. Nous le verrons plus en détail dans le paragraphe C) de cette partie.

Les inconvénients du numérique sont la latence qui peut s'installer dans le système et sa forte propension à perturber certaines sources sonores analogiques. Ces deux aspects seront aussi développés dans l'étude des systèmes émetteurs-récepteurs numérique de plateau dans le paragraphe C).

C. Constitution d'un canal de transmission Haute Fréquence : émetteur, émission et récepteur

Nous allons voir maintenant de quels principaux éléments un système de transmission Haute Fréquence est constitué et le rôle de chacun de ces éléments. Bien entendu, il y a des différences entre un système utilisant la modulation d'amplitude, la modulation de fréquence et une modulation numérique. Nous ne discuterons pas des émetteurs-récepteurs en modulation d'amplitude puisqu'ils ne sont pas utilisés pour les systèmes Hfs de plateau.

Il s'agit ici de décrire les blocs essentiels qui composent un système, les particularités propres aux systèmes de plateau seront vues dans le paragraphe suivant.

1. Structure d'un émetteur :

En modulation de fréquence :

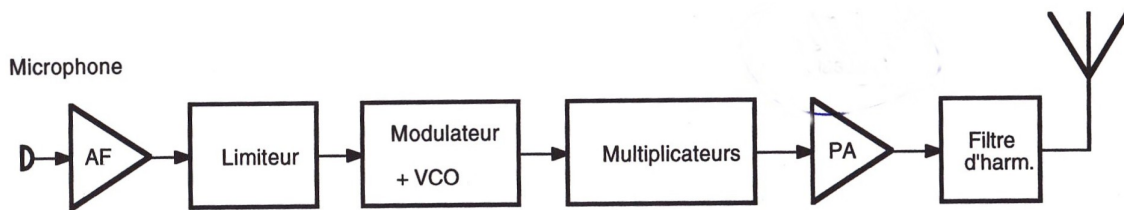


Schéma-bloc d'un émetteur en modulation de fréquence¹⁹

Le signal issu du microphone arrive d'abord à un *préamplificateur audiofréquence* (AF), puis il passe par un *limiteur*, dont le rôle est d'éviter que la déviation de fréquence maximale autorisée ne soit dépassée par une surmodulation. Il est ensuite appliqué à l'entrée du bloc *Modulateur*, lui-même relié à un *VCO*.

Ce bloc est très important puisque c'est là qu'a lieu la modulation de la fréquence porteuse issue du VCO. Le VCO (Voltage Controller Oscillator) est un oscillateur qui produit un signal sinusoïdal haute fréquence en fonction de la tension continue qu'il reçoit à ses bornes. Ceci permet de pouvoir asservir la commande de l'oscillateur à un système automatique, à des préréglages, ou encore à un circuit de sélection de fréquences porteuses...

Une fois l'opération de modulation effectuée, le signal modulé Haute Fréquence est appliqué à un *amplificateur de puissance*, qui va l'amener au niveau de puissance nécessaire pour attaquer l'*antenne d'émission*. Le *filtre d'harmoniques* élimine les éventuelles harmoniques créées par l'amplificateur de puissance.

En modulation numérique :

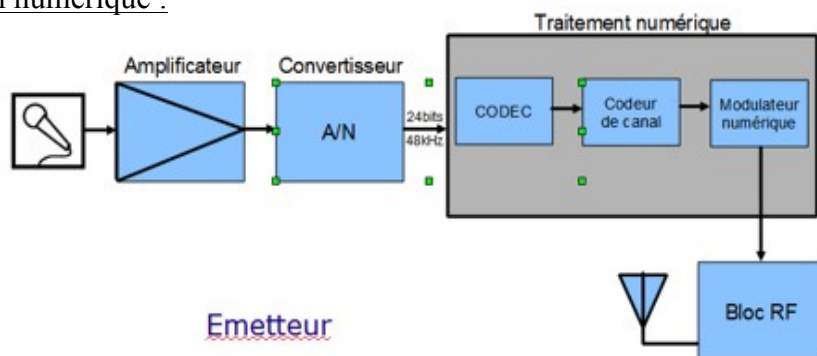


Schéma tiré de l'atelier le Hf numérique Zaxcom et son environnement, par Areitec.

¹⁹ d'après *Structure et applications des émetteurs et des récepteurs*, Robert Du Bois, Presses polytechniques et universitaires romandes, 1996

Comme pour la modulation de fréquence, le signal issu du micro est d'abord amplifié, puis il est converti en un signal numérique et est appliqué ensuite au bloc *Traitement numérique*. C'est dans ce bloc que vont avoir lieu les opérations de compression de données, de génération de la porteuse et de modulation. Les fabricants étant de plus en plus secrets sur les technologies qu'ils mettent en œuvre, je ne saurai être plus précise quant à la composition exacte de ce bloc.

Dans le bloc RF se trouvent l'amplificateur de puissance et le filtre d'harmoniques comme pour un émetteur en modulation de fréquence.

2. L'émission : antenne et rayonnement

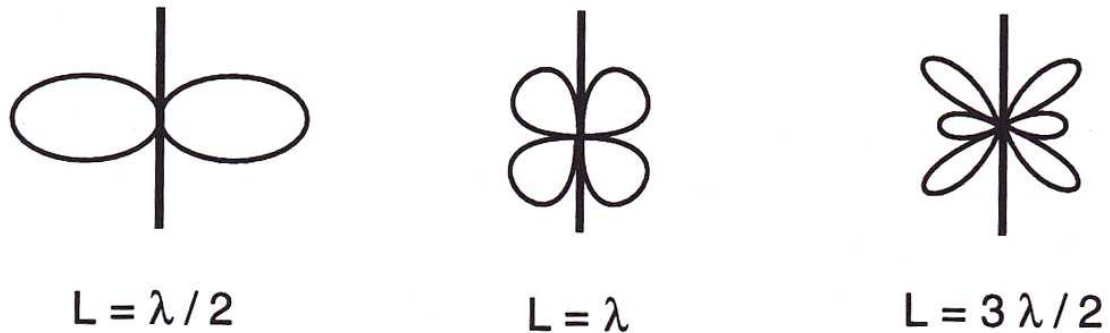
C'est l'antenne qui transforme le courant modulé en ondes électromagnétiques. Sa puissance d'émission va dépendre de l'intensité de ce courant, et du rapport entre la dimension de l'antenne et la longueur d'onde du signal à émettre.

En effet, une antenne est un dipôle électrique qui résonne à une certaine fréquence, c'est-à-dire qu'à sa fréquence de résonance le dipôle va émettre une onde électromagnétique à « pleine puissance ». Afin d'obtenir une puissance d'émission optimale pour un signal d'une certaine fréquence, il va falloir utiliser une antenne dont la fréquence de résonance sera accordée à celle du signal à émettre. Or la fréquence de résonance d'une antenne dépend avant tout de ses dimensions. Si sa longueur L est un multiple de $\lambda/2$, où λ est la longueur d'onde de la fréquence à émettre, elle résonnera plus ou moins fort selon la valeur du multiple.

Une antenne est fondamentalement un dispositif passif (mais on fabrique aussi des antennes actives en leur rajoutant un « booster »), elle ne peut pas délivrer une puissance supérieure à celle du signal qu'on lui applique, c'est pourquoi le signal modulé est amplifié avant d'attaquer l'antenne. En pratique, on définit la bande passante d'une antenne, qui est l'écart de fréquence dans lequel sa puissance d'émission est supérieure ou égale à la moitié de la puissance maximale.

L'antenne idéale en théorie, c'est-à-dire qui rayonnerait de manière égale dans toutes les directions de l'espace, n'est pas réalisable en pratique. Une antenne rayonnera toujours selon certaines directions privilégiées, qu'on représente par les lobes de rayonnement. Comme les antennes sont pour la plupart plus sensibles à la composante électrique de l'onde

électromagnétique qu'elles émettent, et que celle-ci est perpendiculaire à la direction de propagation d'une onde, une antenne verticale par exemple aura des lobes principaux de rayonnement dans le plan horizontal.



Diagrammes de rayonnement d'antennes résonnantes²⁰

3. Structure d'un récepteur

En modulation de fréquence :

Il existe plusieurs structures possibles pour les récepteurs Haute Fréquence en modulation de fréquence. Nous verrons ici la structure la plus répandue : celle du *récepteur superhétérodyne*.

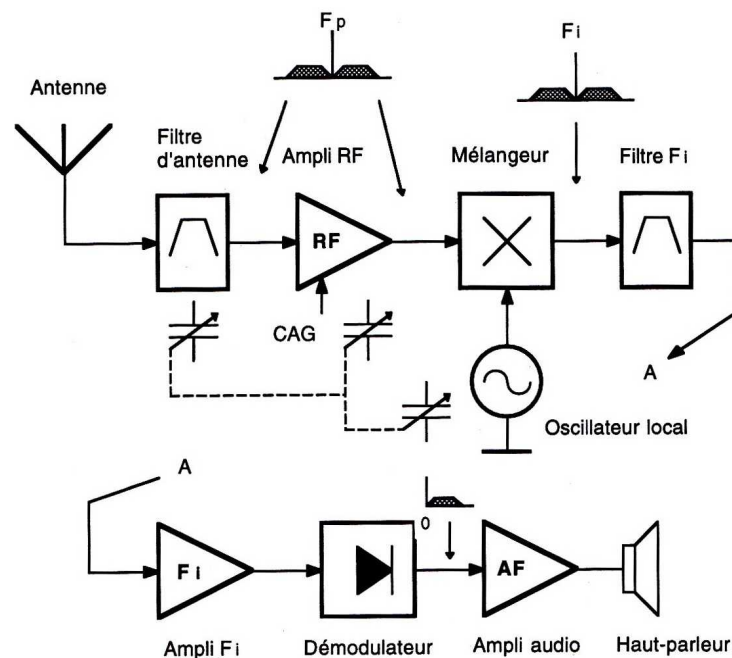


Schéma de principe du récepteur superhétérodyne²¹

²⁰ d'après *Structure et applications des émetteurs et des récepteurs*, Robert Du Bois, Presses polytechniques et universitaires romandes, 1996

²¹ op cit.

Un récepteur doit effectuer trois tâches principales : la sélection du signal voulu parmi tous ceux qui sont captés par l'antenne, l'amplification du signal modulé reçu pour qu'il soit exploitable et la démodulation, afin d'obtenir le signal originel qui a été transmis.

Le principe d'un récepteur superhétérodyne est d'affiner la réception progressivement en ayant recours à une fréquence intermédiaire plus basse que la fréquence porteuse et plus facile à traiter.

L'onde électromagnétique arrive à *l'antenne de réception*, qui va la reconvertir en un courant électrique. Une antenne peut être indifféremment utilisée en émission et en réception. Toutefois, dans de nombreux systèmes, l'antenne de réception peut être un peu plus élaborée (antenne directive, antenne active...) afin d'améliorer la fiabilité de la transmission. Comme une antenne capte tous les signaux électromagnétiques qui lui arrivent, on a recours à un *filtre d'antenne* qui va protéger la suite des étages d'autres signaux que celui que l'on cherche à recevoir. Vient ensuite *l'amplificateur radiofréquence*, qui va amener le signal modulé à un niveau exploitable.

C'est au niveau du *mélangeur* que va avoir lieu l'opération de changement de fréquence porteuse. Sans modifier les bandes latérales du signal, le mélangeur va transformer la fréquence centrale du signal, en une fréquence intermédiaire F_i . Dans les récepteurs de plateau, cette fréquence intermédiaire est égale à 10,7 MHz. Le « nouveau » signal modulé est ensuite passé dans *un filtre accordé à F_i* , qui va éliminer tous les signaux indésirables, éventuellement créés par le mélangeur, ou ajoutés au signal lors de la transmission.

L'amplificateur F_i amène ensuite le signal à un niveau correct pour que le *démodulateur* puisse fonctionner. C'est alors que la fréquence porteuse est extraite du signal et que l'on obtient le signal modulant originel. Dans la majorité des récepteurs MF actuels le démodulateur est un circuit discriminateur à coïncidence ou encore appelé détecteur à quadrature. Il permet de récupérer le signal modulant originel en multipliant le signal modulé avec lui-même déphasé de 90° .

Enfin, *l'amplificateur audiofréquence* amène le signal originel retrouvé au niveau souhaité en fonction de la sortie du récepteur (niveau ligne, niveau micro... selon l'application du système).

En incluant plusieurs étages de mélangeurs et donc le passage par plusieurs fréquences intermédiaires, on peut affiner encore plus progressivement la réception (c'est le cas dans les récepteurs Micron SDR 550 par exemple, où il y a deux F_i , à 10,7 MHz et à 300kHz). L'avantage de passer par ces fréquences intermédiaires est de ne pas être obligé d'utiliser des

composants fonctionnant sur une bande de fréquences élargie (sauf pour l'étage RF) qui sont plus difficiles à concevoir et qui coûtent plus cher.

L'inconvénient d'un récepteur superhétérodyne est qu'il crée une fréquence image symétrique de la fréquence porteuse par rapport à la fréquence de l'oscillateur. Cette fréquence image doit être atténuée avant l'entrée dans le mélangeur, opération qui se fait couramment dans l'étage RF. Si elle n'est pas correctement réduite, il va y avoir des interférences entre celle-ci et la fréquence porteuse.

En modulation numérique :

Il va y avoir dans un récepteur de signal numérique, certains éléments similaires à ceux que l'on trouve dans un récepteur de modulation de fréquence, mais aussi d'autres propres à la modulation QAM.

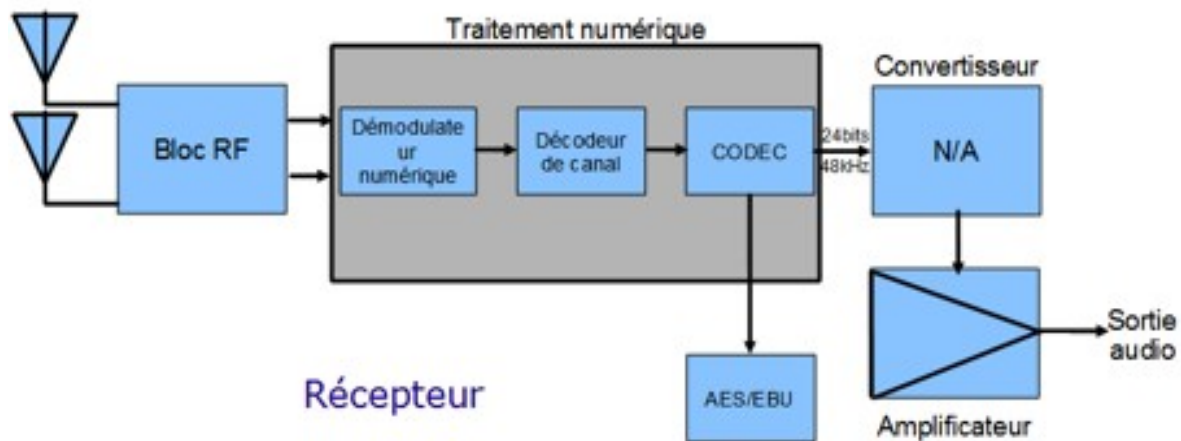


Schéma tiré de l'atelier le Hf numérique Zaxcom et son environnement, de l'AFSI

Comme pour l'émetteur, il est dur de trouver des détails sur la conception interne exacte d'un récepteur numérique. Sur ce schéma qui représente grossièrement le récepteur Zaxcom, on peut distinguer un *bloc RF*, qui, on peut le supposer contient le filtre d'antenne, et l'amplificateur RF. Vient ensuite l'opération de *démodulation*, puis de *décompression des données* et enfin, soit le signal est redirigé vers une sortie numérique, soit il est reconverti en un signal analogique.

Après avoir vu les grandes lignes de la conception d'un système de transmission Haute Fréquence, nous allons nous intéresser spécifiquement à ceux que nous utilisons sur les plateaux de cinéma, qui ont des caractéristiques de conception propres à leur application.

III. Mise en pratique pour les systèmes Hfs de plateau

À partir de ce paragraphe et pour toute la suite de cette étude, nous ne parlerons plus que des systèmes émetteurs-récepteurs micros Hfs de plateau et afin de faciliter la lecture, nous utiliserons souvent le terme « Hfs » pour les désigner. Lorsqu'il sera nécessaire de préciser quels types de micros (cravates ou perche), ce sera fait.

Historique :

Des systèmes Hfs ont été développés dès les années 50 (système Mikroport de Sennheiser en 1958 par exemple) mais leur première utilisation professionnelle en France date de 1964 sur une émission télévisuelle de Pierre Bellemare. Et c'est en 1970 pour le film *M.A.S.H* de Robert Altman qu'ils seront pour la première fois employés sur le tournage d'un long-métrage (systèmes développés à l'époque par l'ingénieur du son d'Altman, Jim Webb). Par la suite, associés aux capsules cravates, ils seront de plus en plus utilisés car ils se révèlent extrêmement utiles dans certaines configurations où la technique doit se faire plus légère et plus discrète. On peut noter par exemple leur utilisation sur *Shining* de Stanley Kubrick (1980) où l'emploi du premier steadycam de l'histoire du cinéma rendait quasi impossible la prise de son au micro perche câblé.

À l'origine ces systèmes fonctionnaient dans la bande de fréquences VHF (30 à 300 MHz) et plus précisément dans des bandes entre 30 et 40 MHz. Un émetteur ne proposait en général qu'une ou deux fréquence de transmission, et une bande passante de 1 à 2 MHz. Les antennes mesuraient entre 50 et 60 cm sur les émetteurs et jusqu'à 1,25 m sur certains récepteurs ! De plus, les dimensions des émetteurs étaient de l'ordre de 13 à 15 cm de longueur, ce qui n'est pas idéal lorsqu'il s'agit de le cacher sur un comédien tout en lui assurant un certain confort.

Les premiers systèmes développés utilisaient des tubes, ce qui explique leur encombrement, mais dès les années 70 les transistors apparaissent et la course à la miniaturisation commence.

A. Technologie des émetteurs-récepteurs micros Hfs miniaturisés :

Le développement de systèmes Hfs pour le monde audio professionnel nécessite de prendre en compte un certain nombre de besoins essentiels.

La première exigence du monde de l'audio professionnel est celle de la plus haute qualité audio possible. Ce qui signifie que les systèmes Hfs doivent avoir une bande passante la plus large possible, mais aussi des techniques de réduction de bruit, ainsi qu'une dynamique élevée.

Tout aussi importante est l'exigence d'une grande fiabilité de transmission. Ce qui induit de porter une attention toute particulière à la résistance aux interférences qui apparaissent lors de la propagation mais aussi dans les systèmes eux-mêmes et aux techniques de réception.

Enfin, pour une utilisation sur des comédiens lors d'un tournage, une grande discrétion, des appareils émetteurs surtout, est nécessaire. Il faut donc chercher une miniaturisation maximale aussi bien de la capsule, que du boîtier et des antennes.

Les systèmes actuels prennent en compte ces exigences et contiennent en plus la possibilité de choisir entre plusieurs fréquences de transmission afin de pouvoir utiliser plusieurs émetteurs sur le même plateau et de pouvoir changer de fréquences en cas d'occupation par d'autres systèmes Hfs comme des émetteurs de radio ou de télévision par exemple.

1. Constitution particulière des émetteurs et des récepteurs Hfs miniaturisés à destination de la prise de son professionnelle

L'émission :

Afin de pouvoir assurer une haute qualité audio, les constructeurs de systèmes Hfs doivent évidemment en premier lieu faire attention à la qualité des composants qu'ils utilisent (préamplificateur, amplificateur, transistors, etc...), afin que ceux-ci aient un bruit propre le plus bas possible.

Dans le but de proposer aux utilisateurs plusieurs fréquences porteuses dans un même émetteur, un émetteur destiné à l'audio professionnel a une particularité au niveau du circuit de modulation, asservi au VCO : c'est un circuit *synthétiseur de fréquences*.

Un synthétiseur de fréquences permet de produire un certains nombre de fréquences porteuses dans un ensemble fini de fréquences grâce à une boucle d'asservissement du VCO à un oscillateur à quartz de référence très stable. Ce système de boucle est appelé en anglais un circuit PLL (Phase Locked Loop) car il est basé sur un comparateur de phase, qui compare la phase du signal de sortie du VCO et de l'oscillateur étalon et rectifie celle du VCO en cas de glissement de fréquence. D'autre part, un tel système permet aussi d'avoir des canaux plus larges qu'avec un simple VCO.

On peut voir sur le premier schéma ci-dessous, un synthétiseur de fréquences et sur le deuxième son intégration dans un émetteur Micron TX700.

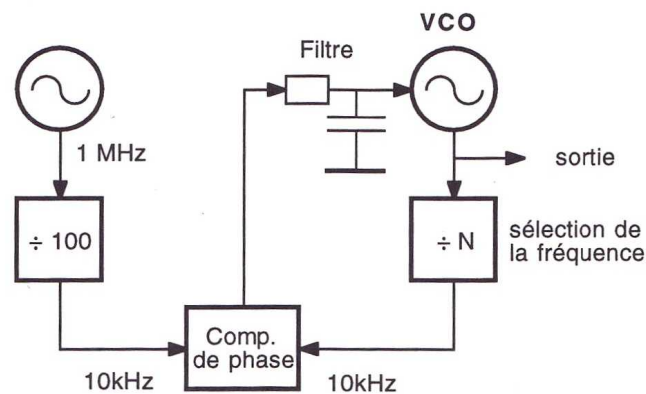


Schéma du synthétiseur de fréquence²²

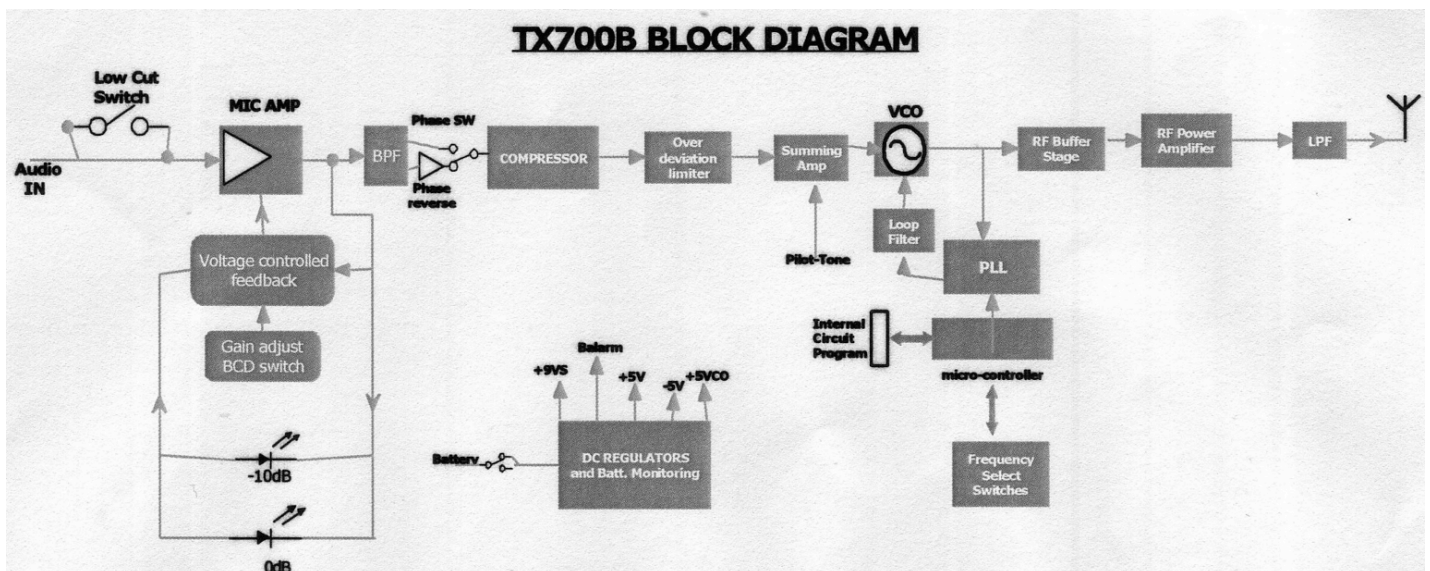


Schéma du TX700 de Micron

²² d'après *Structure et applications des émetteurs et des récepteurs*, Robert Du Bois, Presses polytechniques et universitaires romandes, 1996

L'utilisation de synthétiseur de fréquences permet aux constructeurs de proposer de nos jours des appareils qui peuvent avoir de 16 à 32 fréquences différentes, avec des largeurs de bande de 8 à 32 MHz.

L'inconvénient de l'emploi d'un VCO est le bruit généré. En effet, comme tout composant électronique le VCO a un bruit propre, mais de plus étant intégré dans une boucle, il ramène du bruit supplémentaire. Lorsque l'on calcule la dynamique de transmission d'un émetteur, qui est limitée d'un côté par le bruit de fond des composants et de l'autre par l'excursion maximale en fréquence autorisée et le limiteur de l'émetteur, les constructeurs obtiennent environ 50dB. Ce qui est peu ! C'est pourquoi les Hfs miniaturisés utilisent *une technique de compression-expansion*, afin de doubler cette dynamique.

Chaque constructeur a sa technologie de compression-expansion (abrégé en « compander » dans le langage courant) et de réduction de bruit, chez Sennheiser c'est le « HiDynplus » et chez Lectrosonics le « Smart Noise Reduction » par exemple, mais le principe est le même chez tous.

Il s'agit dans l'émetteur de compresser la dynamique du signal modulant (qui est de l'ordre de 110dB) avant modulation, la ramenant ainsi à environ 50dB, puis de faire l'opération inverse dans le récepteur. Un tel procédé permet d'améliorer le rapport signal sur bruit de la porteuse modulée et d'augmenter la dynamique, tout réduisant la bande passante nécessaire à la transmission.

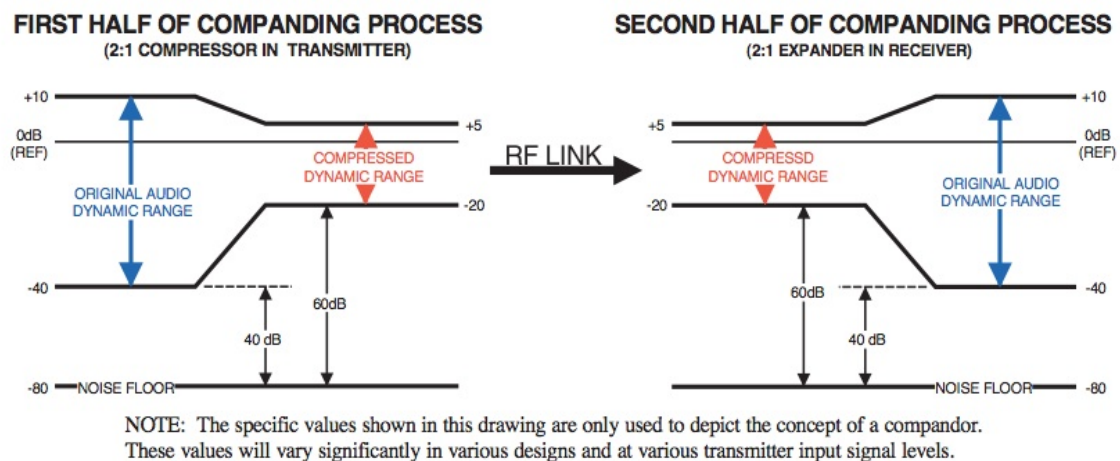


Schéma du principe d'un compander²³

En remontant ainsi les niveaux faibles, on les « place » au-dessus du niveau des bruits qui pourraient s'ajouter au signal modulé lors de la propagation de l'onde dans l'air. On retrouve cette technique dans les réducteurs de bruit Dolby par exemple. Et comme pour les

²³ Schéma tiré du document *Wireless Microphone System* de Lectrosonics.

différentes générations de Dolby, il existe des circuits de compander qui gèrent la compression puis l'expansion sur l'ensemble du spectre et des circuits où le spectre est découpé en bandes de fréquences, ce qui permet un réglage plus fin et plus pertinent de chacun des compresseurs par rapport aux fréquences qu'ils traitent.

Avant ce traitement de compression-expansion, on procède aussi à une pré-accentuation des aigus (suivie d'une désaccentuation dans le récepteur).

Les companders n'existent pas dans les systèmes Hfs numériques car il n'y a pas de notion de dynamique de transmission liée à la dynamique du signal modulant. Une grande dynamique du signal à transmettre se traduit uniquement par un élargissement du spectre d'émission (plus le débit est important, plus le spectre d'émission nécessaire est large, comme nous l'avons vu précédemment). L'équivalent du compander analogique serait la compression de données des systèmes numériques. Mais aucun fabricant ne communique d'informations quant au procédé employé.

Nous l'avons dit dans l'historique une première chose à faire afin de faciliter la miniaturisation indispensable des émetteurs Hfs est d'employer des composants électroniques, comme les transistors, de plus en plus petits intégrés dans des cartes de circuit imprimé. Mais il faut aussi limiter la taille des antennes. Pour cela, les constructeurs n'utilisent pas des antennes « demi-onde » mais des antennes « quart-d'onde ». par exemple, pour une fréquence porteuse de 470 MHz, on va alors avoir une antenne d'environ 15 cm.

La puissance d'émission d'un émetteur Hf miniaturisé est limitée à 50mW en Europe et 250mW aux USA. Mais cette puissance est vite moindre car le corps humain absorbe beaucoup de cette énergie.

La réception :

De nos jours, les systèmes Hfs proposent plusieurs types d'antennes de réception : active ou passive, directive ou non, à large bande ou sélective. Il convient de choisir l'antenne adaptée à l'utilisation que l'on va faire de son système et à l'environnement de tournage. Tous les fabricants proposent aussi des antennes déportées, bien utiles dans le cas d'un environnement particulièrement « hostile » aux ondes Hfs.

Première exigence d'un récepteur Hf miniaturisé, capter le signal modulé émis avec la meilleure fiabilité possible, ce qui revient à avoir une bonne sélectivité et une bonne

résistance aux interférences, c'est-à-dire aux phénomènes éventuels d'annulation du signal par réflexion. Pour cela, plusieurs techniques de réception ont été mises au point.

On peut lire dans un article datant de 1965 de la revue *Le cinéma pratique*, qu'une technique appelée « Diversity de récepteurs » existait. Elle consistait à placer plusieurs récepteurs à différents endroits afin de capter sur l'un ou l'autre le meilleur signal possible selon les déplacements des comédiens. De nos jours, des techniques bien moins encombrantes existent.

Il y a tout d'abord, le « Diversity d'antenne ». Un récepteur possède deux antennes et un comparateur choisit le meilleur signal (le plus puissant) entre les signaux captés par chacune. En théorie, il faudrait espacer ces antennes d'au moins une fois la demi longueur d'onde du signal émis (30 cm pour un signal à 470 MHz), pour que la différence entre les signaux reçus soit significative mais en pratique un bon compromis consiste à les placer à angle droit en réduisant l'écart entre elles.

Une autre technique consiste à avoir un circuit de réception par antenne. Les signaux modulés reçus sont alors comparés au niveau du premier mélangeur et un switch choisi le signal le plus puissant. Ce procédé est appelé « True Diversity ». On le trouve dans la plupart des systèmes utilisés dans le monde professionnel (Micron, Sennheiser, Audio Ltd, Lectrosonics) qu'ils soient analogiques ou numériques.

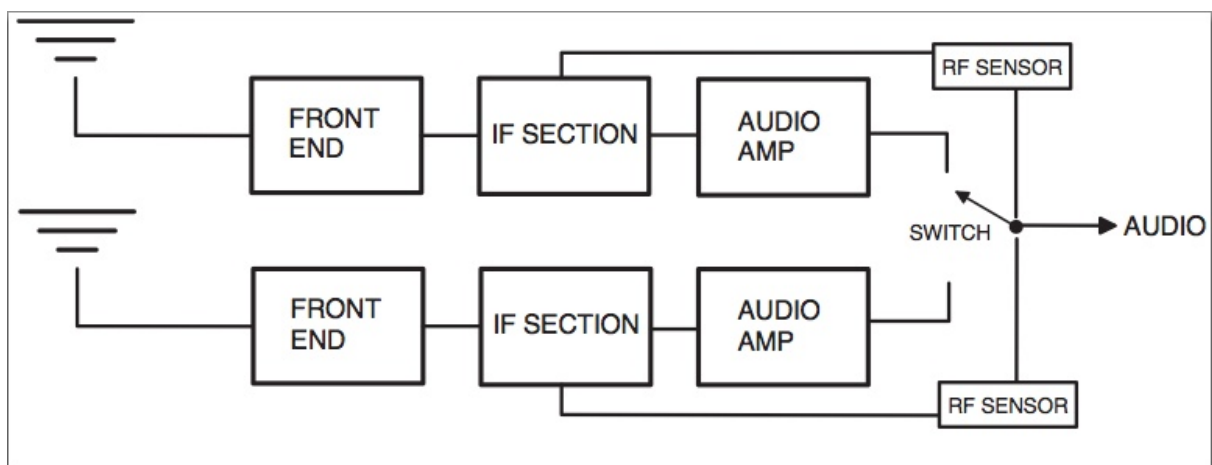


Schéma de principe du True diversity²⁴,

Il existe une variante à ce type de Diversity, qu'on appelle « Ratio Diversity ». Dans cette technique, il ne s'agit pas uniquement d'un switch mais d'un mélange en permanence des deux signaux reçus le plus fort étant privilégié à l'autre. En plus de cela, lorsque les deux

²⁴ d'après le document *Wireless Microphone System* de Lectrosonics.

signaux sont de bonne qualité, ils sont ajoutés. Ainsi sur les modèles Micron SDR550, on gagne 3dB de gain.

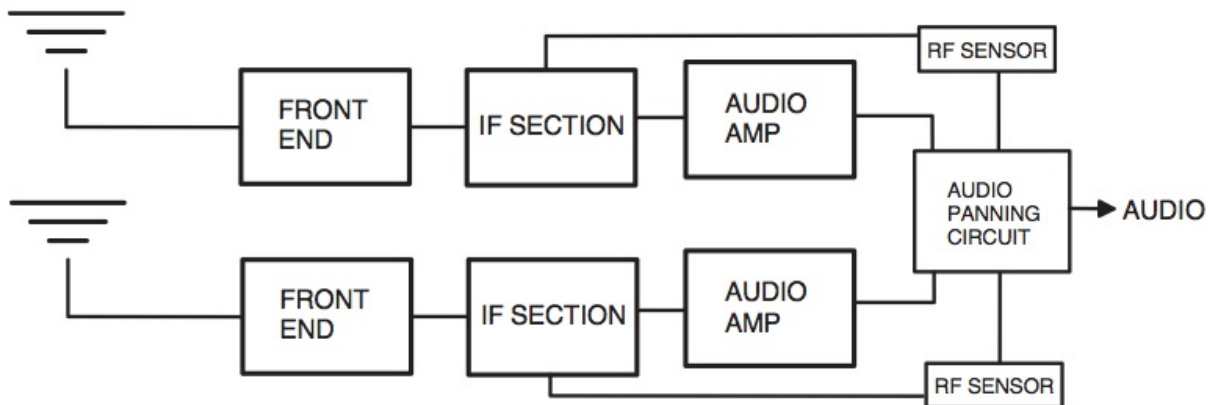


Schéma de principe du procédé « Ratio Diversity »²⁵

On retrouve aussi dans les récepteurs les circuits d'expansion, qui doivent être parfaitement couplés avec ceux de la compression dans l'émetteur, afin de restituer la dynamique originelle du signal modulant.

Autre particularité des récepteurs Hfs miniaturisés (mais qu'on retrouve aussi sur certains récepteurs radio FM), le circuit de squelch. Ce circuit a pour fonction de couper la sortie du récepteur Hf lorsque celui-ci ne reçoit pas de signal utile, c'est-à-dire soit lorsque l'émetteur est éteint, soit lorsque le signal reçu est trop faible par rapport au bruit et n'est pas exploitable. En effet, dans ce cas-là la sortie d'un récepteur va être un signal composé de bruit amplifié par ses étages d'entrée.

Le circuit de squelch le plus simple consiste en un seuil minimal de niveau de réception en dessous duquel la sortie du récepteur est coupée. Sur certains systèmes, le réglage de ce seuil est accessible à l'utilisateur mais sur d'autres il est défini en usine. Plusieurs autres techniques ont été développées afin d'éviter que le squelch ne se déclenche lorsque le signal utile reçu est très bas. L'une consiste par exemple à ajouter dans l'émetteur un signal très, très haute fréquence, appelé Pilot. À la réception, le circuit de squelch vérifie si ce pilot est présent et s'il ne l'est pas il coupe la sortie.

Il est aussi intéressant de signaler que de plus en plus de récepteurs, qu'ils soient analogiques ou numériques contiennent un scanner de fréquences afin de faciliter le choix de la fréquence d'utilisation optimale dans un lieu donné. Les systèmes « tout-numérique » incluent par ailleurs de plus en plus de fonctionnalités (envoi de signaux de télécommande,

²⁵ d'après le document *Wireless Microphone System* de Lectrosonics.

enregistrement sur l'émetteur...) mais le but de cette étude n'étant pas de référencer toutes les options des différents systèmes existants, nous n'en parlerons pas plus.

N'ayant pas eu accès à des documentations précises sur les systèmes numériques Hfs, nous ne discuterons malheureusement pas ici des spécificités de conception de ces systèmes. Toutefois, nous pouvons évoquer la technologie hybride, mise au point par Lectrosonics.

L'idée de base est de supprimer l'opération de compression-expansion et d'améliorer les traitements audios internes aux émetteurs et aux récepteurs en les effectuant en numérique. Dans l'émetteur et dans le récepteur, il y a donc un convertisseur analogique numérique, puis le circuit de traitement numérique et ensuite un convertisseur numérique-analogique et la transmission se fait en analogique.

Enfin, s'il n'a pas été question ici des systèmes Hfs utilisés en monitoring audio c'est que leur technologie ne diffère pas fondamentalement de celle des systèmes employés pour la prise de son et l'enregistrement. C'est en terme de qualité de reproduction qu'une différence est constatée. En effet, pour les systèmes de monitoring, on peut se permettre d'avoir une bande passante moins large et une dynamique moindre, puisque la priorité est à l'intelligibilité et non pas à une restitution de qualité du signal audio capté.

2. Les micros cravates.

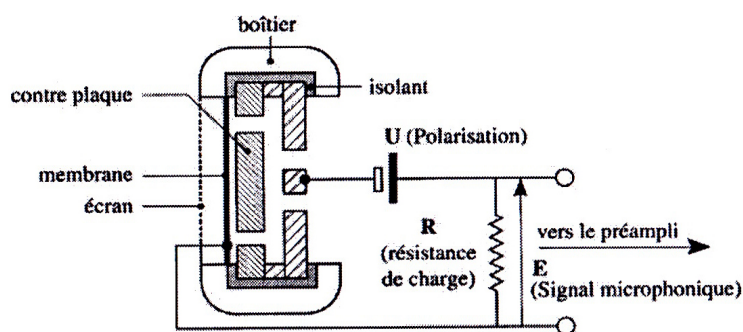
Les capsules cravates sont des microphones de la famille des microphones électrostatiques, basés sur le fonctionnement des condensateurs.

Fonctionnement d'un micro électrostatique à condensateur :

La membrane du micro, métallisée, est fixée face à une contre-plaque métallique et séparée de celle-ci par un isolant, ces deux éléments constituant ainsi les deux électrodes d'un condensateur. Pour que ce condensateur fonctionne, il doit être polarisé (chargé), c'est pourquoi dans les microphones électrostatiques, une tension de polarisation est appliquée aux deux électrodes en permanence. Lorsque l'air fait vibrer la membrane, la capacité du condensateur varie et cette variation se traduit par l'apparition d'une tension électrique alternative aux bornes d'une résistance placée en série. Le signal est ensuite envoyé vers un préamplificateur puis vers la sortie du microphone.

L'avantage de ces microphones est que la membrane peut-être très fine (de l'ordre de d'une dizaine de μm) et que le niveau de sortie est élevé.

Ce type de microphone nécessite une alimentation extérieure (pour le condensateur et pour le préampli), placée soit dans le boîtier, soit fournie par un autre appareil (mixette, enregistreur, console...)



Principe de fonctionnement d'un microphone électrostatique, à polarisation continue

Schéma tiré du syllabus, Introduction au son, de Nicolas Delooze.

Particularités du micro cravate :

La capsule cravate est une capsule électrostatique à électret. C'est-à-dire que sa membrane est constituée d'une feuille de plastique (polymère) qui est polarisée au moment de sa fabrication et qui garde cette charge électrique de manière permanente. Il n'y a donc plus de nécessité de fournir une tension de polarisation. Par ailleurs, les dimensions de la membrane peuvent être de l'ordre du micro-mètre, tout en délivrant un niveau de sortie élevé (entre 3 et 20 mV/Pa). Les capsules cravates sont le plus souvent omnidirectionnelles, mais elles existent aussi en directivité cardioïde.

Le circuit nécessaire à la mise en marche de ce type de micro étant très simple (voir plus haut) et permettant ainsi une production à grande échelle relativement peu coûteuse, et la miniaturisation « à l'extrême » étant possible, c'est ce type de microphone qui sera développé pour les « cravates », apparus dans les années 80.

La réponse en fréquence des capsules cravates actuelles est relativement plate, mais beaucoup d'entre elles présentent aussi une bosse dans les aigus (aux alentours de 5kHz), afin de compenser l'importance des médiums et des bas-médiums, que leur placement sur la poitrine d'un comédien induit.

Les principaux modèles de capsules cravates utilisées de nos jours sur les plateaux de tournage sont des Tram, des Sanken et des DPA. Chaque fabricant a développé un certain nombre d'accessoires pour faciliter la pose « optimale » de ces capsules, et certains les ont aussi produits en différentes couleurs afin de les fixer plus discrètement.

Après avoir vu les éléments particuliers et les technologies propres aux systèmes micros Hfs miniaturisés, nous allons évoquer dans les deux paragraphes suivants les phénomènes indésirables que l'opérateur son est susceptible de rencontrer sur le plateau de tournage lorsqu'il utilise de tels équipements.

B. Phénomènes indésirables liés aux systèmes émetteurs-récepteurs micros Hfs miniaturisés et à la transmission Hf :

1. Les interférences dues aux systèmes Hfs:

Les interférences auxquelles peuvent être sensibles des systèmes de transmission Hf ont différentes origines possibles selon l'environnement. Elles peuvent être dues à l'utilisation de plusieurs systèmes Hfs simultanément, au système Hf lui-même, à des signaux radiofréquences plus puissants émis dans la zone (nous le verrons dans le paragraphe suivant) ou encore à une combinaison entre deux ou trois de ces causes.

Ce qu'il est essentiel de savoir c'est que les émetteurs et les récepteurs Hfs étant des systèmes non-linéaires (le signal de sortie n'est pas identique au signal d'entrée), ils sont sensibles à l'intermodulation. Ce phénomène a lieu lorsque deux signaux ou plus sont présents: il y a création de signaux qui sont la combinaison (plus ou moins complexe : addition, soustraction, multiplication des fréquences fondamentales ou des harmoniques...) des signaux originels. On les nomme les produits d'intermodulation. Selon la « complexité » de leur corrélation avec les signaux originels, on dit qu'ils sont de 1^{er} ordre, de 2^e ordre, etc, etc... Les produits d'intermodulation de 3^e ordre sont les plus gênants pour les systèmes Hfs, car ils sont proches de la fréquence du signal désiré et par conséquent ils peuvent induire en erreur le récepteur d'un système. Celui-ci va considérer qu'il reçoit le signal attendu et le laisser passer. On obtiendra alors en sortie un signal avec une bande passante très réduite et/ou une saturation du récepteur.

Lorsque l'on utilise deux systèmes simultanément, de nombreuses « combinaisons » d'interférences liés à des produits d'intermodulation peuvent se produire. Par exemple entre deux émetteurs fonctionnant à des fréquences trop proches, il va y avoir création d'un 3^e signal, qui va se superposer au signal de sortie de l'un des deux et être transmis. On nomme ce signal un « bruit d'oiseaux ».

Un point important qu'il faut retenir, c'est que comme la fréquence intermédiaire F_i de la plupart des systèmes émetteurs-récepteurs Hfs est 10,7 MHz, tout signal indésirable à cette fréquence, qu'il vienne du rayonnement d'un autre appareil, ou qu'il résulte d'une intermodulation, va énormément affecter un récepteur car il va la prendre pour sa fréquence intermédiaire. Il faut donc toujours faire fonctionner deux systèmes avec une différence de fréquence supérieure à F_i , afin de ne pas faciliter la création de cette fréquence dans les produits d'intermodulation. De plus, ils existent des logiciels de calculs de produits d'intermodulation, en ligne comme celui sur le site d'Audiotechnica ou dans des applications sur les smartphones.

Autre cause d'interférences, les composants des appareils eux-mêmes. Comme nous l'avons vu précédemment, les systèmes à synthétiseur de fréquences ont un bruit propre relativement élevé, qui peut parfois être transmis avec le signal. À la réception, le démodulateur aura alors du mal à faire la différence entre ce bruit et le signal modulant d'origine et les laissera uni. Conséquence audible : une espèce de « fizz » à la fin des mots par exemple. Mais ce problème n'est pas censé se présenter, car le compander du système est là pour éliminer ce bruit.

Par ailleurs, les oscillateurs des émetteurs et des récepteurs génèrent des harmoniques proches de la fréquence porteuse, de même que les amplificateurs RF. Ces harmoniques doivent normalement être éliminées grâce aux filtres mais si les filtres fonctionnent mal ou ne sont pas de bonne qualité, elles resteront dans le signal. Un oscillateur de récepteur peut aussi rayonner via l'antenne de réception sur un autre récepteur. Il faut donc toujours avoir au moins 1 à 2 cm de séparation entre deux récepteurs.

Un problème peut aussi se poser au niveau du filtre d'entrée (filtre d'antenne) d'un récepteur. En effet, celui-ci est large puisqu'il doit couvrir toute la largeur de la bande de fréquences utilisée par le système, il peut donc être susceptible de laisser passer des signaux indésirables.

Enfin, il faut savoir que les circuits à synthétiseur de fréquences sont très sensibles aux transitoires électriques, c'est pourquoi il est vital d'avoir un bon filtrage du bloc d'alimentation.

2. Limite des systèmes de traitement audio analogiques :

Nous l'avons vu précédemment, il y a dans un émetteur Hf, un limiteur d'entrée, destiné à empêcher le dépassement de la déviation de fréquence maximale autorisée et à protéger le préamplificateur. Comme tout limiteur présent dans un appareil audio, une attention particulière doit être portée à sa conception et à son réglage, sinon il peut devenir une gêne pour la prise de son. Sur des signaux de haut niveau à fortes transitoires, l'action du limiteur risque de s'entendre si son temps de redescende est trop long par rapport à la durée de la transitoire.

Le réglage du squelch peut aussi avoir des conséquences sur le rendu de l'audio. Un niveau de squelch mal adapté au signal émis peut par exemple avoir pour conséquence de muter la sortie du récepteur si le signal reçu est inférieur au seuil du squelch même si il s'agissait du signal utile !

Enfin, la bonne adaptation du compander d'un système Hf au type de signal qu'il va transmettre est évidemment fondamentale afin d'éviter des distorsions dans telle ou telle bande de fréquences. De plus, il faut savoir que la présence de nombreux signaux très hautes fréquences (comme les ultrasons par exemple) s'ajoutant au signal utile durant la transmission peut tromper le compander d'un système. Ces signaux ne sont certes pas audibles, mais ils seront captés par le récepteur et mettront en action le compander, ce qui aura pour conséquences l'apparition d'un effet de pompage sur les hauts niveaux et/ou la création de « boat noise » (traînées dans le son qui font penser au son de la corne d'un bateau).

3. Les inconvénients en numérique:

Le phénomène le plus gênant dans un système HF numérique (hybride ou total) est le délai qui s'installe entre le moment de la captation du son par le microphone et le moment de la sortie du signal hors du récepteur. Ce délai, de l'ordre de 3 à 6ms selon les modèles, est dû

au temps de travail des différents convertisseurs et DSP présents. Lorsqu'un chef opérateur son va écouter simultanément une perche en filaire et un émetteur Hf numérique, ce délai va être très gênant.

D'autre part, l'emploi d'un système tout numérique comporte des risques d'interférences sur des systèmes analogiques (Hfs ou non) alentours. En effet, la modulation QAM induit que la fréquence porteuse varie en phase, ces variations peuvent être très brutales et l'onde électromagnétique ainsi obtenue est puissante et va perturber d'autres équipements électroniques, tels que les microphones à condensateur ou à électret. C'est pourquoi les fabricants de micros cravates proposent maintenant des capsules blindées.

C. Phénomènes indésirables liés à l'environnement sur le plateau

1. Présence d'émetteurs radiofréquences plus puissants :

Lorsqu'un système émetteur Hf miniaturisé travaille à une fréquence porteuse proche de celle d'un émetteur plus puissant (comme un émetteur radio ou TV), le récepteur associé sera perturbé et retransmettra le signal le plus fort au lieu du signal attendu. Comme les émetteurs Hfs travaillent dans des bandes de fréquences de la gamme UHF où se trouvent aussi certains émetteurs de télévision notamment, il faut être particulièrement attentif à choisir une fréquence de fonctionnement la plus éloignée possible de celle de l'émetteur TV le plus proche.

2. Interférences avec d'autres appareils :

Nous l'avons vu dans le paragraphe précédent, deux récepteurs Hfs peuvent se perturber à cause du rayonnement de leurs oscillateurs. Il en va en fait de même avec tout appareil contenant un oscillateur ou un système oscillant : les ordinateurs, les alimentations à découpages, les micros-processeurs d'un enregistreur numérique... Par exemple, l'enregistreur Nagra D rayonne à 5GHz et peut être très gênant pour des récepteurs. Il faut donc faire attention à ne pas placer de systèmes Hfs miniaturisés (analogiques) trop près de ce type d'équipement. Dans le cas où le récepteur d'un système a une source d'alimentation

commune avec un autre appareil, il est très important que cette alimentation soit correctement filtrée afin d'éviter tout rayonnement de l'un sur l'autre.

D'autres équipements fonctionnant en transmission Hf, comme les télécommandes de points par exemple, sont aussi susceptibles de créer des interférences, s'ils se retrouvent proches d'un système audio (système Hf ou juste un microphone) qui laissent passer leur fréquence porteuse. Ainsi, la télécommande Panatape de Panasonic utilise du 40kHz, les capsules MKH8050 de Sennheiser offrent une bande passante jusqu'à 50kHz, et il y a des problèmes d'interférences entre les deux.

3. Interférences liées au décor :

La propagation des ondes électromagnétiques est sans cesse influencée par les obstacles qu'elle rencontre. Selon la nature de ces obstacles, elle va subir les phénomènes de réflexion, réfraction, etc etc.. (voir Partie 1). Plus l'onde sera réfléchi sur de nombreux obstacles et plus à l'antenne réceptrice arriveront des signaux plus ou moins indirects, plus ou moins déphasés par rapport à l'onde en trajet direct. Dans le récepteur ces multiples arrivées peuvent se traduire par des « trous » de transmission (décrochages). Ces trous correspondent aux zones d'ombre du champ électromagnétique, zone dans lesquelles deux ou plusieurs ondes s'annulent en se rencontrant. C'est pour empêcher ce phénomène que les techniques de réception Diversity ont été inventées. Mais malgré cela, sur un plateau (en intérieur ou en extérieur), plus le signal modulé rencontrera d'obstacles dans son trajet entre émetteur et récepteur et plus ces obstacles seront réfléchissants pour les ondes électromagnétiques (structures métalliques à éviter absolument !) et plus des décrochages peuvent apparaître.

À cela il faut ajouter les obstacles qui agissent comme des écrans (murs en bétons par exemple) ou les milieux qui absorbent beaucoup d'énergie à l'onde (l'eau par exemple) et risquent de bloquer la transmission. Le corps humain lui-même absorbe beaucoup les ondes électromagnétiques et avoir une foule de figurants entre un émetteur et un récepteur peut empêcher la transmission.

Afin d'éviter ce type d'interférences, il faut pouvoir tester les liaisons Hfs et déplacer les récepteurs le cas échéant (il est plus difficile de demander à déplacer les comédiens équipés et du coup le décor, les projecteurs, la caméra, etc, etc...).

D. L'attribution des plages de fréquences : cadre réglementaire pour l'utilisation des systèmes micros Hfs

Le spectre radio (petite partie du spectre électromagnétique) est considéré appartenant au domaine public et le nombre phénoménal d'utilisations que l'on peut en faire rend obligatoire une réglementation internationale, européenne et nationale. Le but est de pouvoir faire fonctionner tous les services sans interférences les uns avec les autres.

Au niveau international, il existe des traités et des réglementations, comme le RR (règlement des radiocommunications), établis par l'UIT. Dans radiocommunications, on entend la radiodiffusion, la télédiffusion, les liaisons de téléphonie mobile, les services internet et pleins d'autres choses encore. Tous ces services sont divisés en catégories et sont hiérarchisés. Les systèmes micros Hfs de plateau ne sont pas la priorité et ne sont même pas dans le haut de la liste. Ils appartiennent à la catégorie des AFP (Appareils à faible portée) en France et des ACP (Appareils à courte portée) en Belgique.

Les acteurs de la réglementation en France sont :

- l'ANFR, qui a une mission de planification, de gestion et de contrôle de l'utilisation des fréquences.
- Certaines administrations de l'Etat (ministères de la défense, de l'intérieur..)
- Et certaines autorités indépendantes, comme le CSA et l'ARCEP (Autorité de régulation des communications électroniques et des postes). Cette dernière est l'agence qui a en charge les télécommunications et les AFP.

C'est l'ARCEP, qui fixe les bandes de fréquences allouées aux systèmes micros Hf et autres AFP. Elle publie cela dans le Tableau National de répartition des bandes de fréquences (TNRBF) qu'il est possible de consulter.

En Belgique, nous avons l'IBPT (Institut belge des postes et des télécommunications), qui remplit le même rôle.

Mais que ce soit en France ou en Belgique, l'Union européenne joue aussi un rôle à travers deux organismes : le CEPT et l'ECC, dont le but est d'arriver à harmoniser l'usage des fréquences radios sur les territoires de l'UE. Dans cette optique, la commission européenne a publié la directive RTTE, qui fixe les conditions de mise sur le marché des équipements hertziens et des terminaux de télécommunications et que les pays membres doivent suivre.

En ce qui concerne spécifiquement les systèmes Hfs, ils doivent suivre la recommandation européenne ERC 70-03 (téléchargeable sur le site www.ero-docdb.dk) qui préconise différents paramètres d'utilisation des fréquences radios pour les AFP (Annexe 10).

Voici ci-dessous deux tableaux reprenant les bandes de fréquences allouées aux systèmes micros sans fil en France et en Belgique :

Microphones sans fil et aides à l'audition

Bande de fréquences ou fréquence centrale du canal	Puissance rayonnée max.	Paramètres additionnels	Références / observations
32,8 MHz	1 mW p.a.r.	Canalisation : 200 kHz	Arrêté du 11 mars 1994
36,4 MHz			
39,2 MHz			
169,4-169,6 MHz	500 mW p.a.r.	Canalisation : jusqu'à 50 kHz	Décision ARCEP 2007-689 Décision 2005/928/CE Aides à l'audition
174 à 223 MHz	Equipements auxiliaires de radiodiffusion - Voir l'annexe 8 du présent document		
175,5 à 178,5 MHz	10 mW p.a.r.	Canalisation : 200 kHz	Arrêté du 11 mars 1994
183,5 à 186,5 MHz	10 mW p.a.r.	Canalisation : 200 kHz	Arrêté du 11 mars 1994
470 à 830 MHz	Décision ECC(09)03 Décisions ART - n°99-0781, n°99-0782 et n° 00-0205 Equipements auxiliaires de radiodiffusion. A partir du 1 ^{er} décembre 2011, la bande 790-821 MHz ne sera plus utilisable pour ces applications		
830 à 832 MHz	Décision ECC(09)03 Cette bande ne pourra être utilisée qu'à partir du 1 ^{er} décembre 2011		
863 à 865 MHz	10 mW p.a.r.	-	Décisions ART n°99-799 et 99-800 Dispositifs de transmission audio grand public
1 785 à 1 800 MHz	- 20 mW p.a.r. - La puissance max. peut être de 50 mW pour les microphones portés près du corps.	-	Recommandation ERC/REC/70-03 (annexe 10) Microphones sans fil

Tableau extrait du TNRBF (annexe 7)

1. Exigences minimales relatives à l'utilisation efficace du spectre.

1A. La fréquence de l'onde porteuse pour les microphones sans fil est choisie parmi les bandes de fréquences dans le tableau des fréquences collectives mentionné ci-dessous. La puissance maximale autorisée ainsi que l'espacement entre canaux dépendent de la bande de fréquences.

1. Minimum vereisten in verband met het efficiënt gebruik van het spectrum.

1A. De draaggolf frequentie voor draadloze microfoons wordt gekozen uit de frequentiebanden in de hieronder opgenomen tabel van collectieve frequenties. Het maximaal toegestane vermogen evenals de kanaalafstand zijn afhankelijk van de frequentieband.

	Bandes de fréquences Frequentiebanden	Limites de puissance Toegelaten vermogen	Espacement entre canaux Kanaalafstand
a	29,700- 47,000 MHz	10 mW p.a.r./e.u.v.	50 kHz
b	174,000-216,000 MHz	50 mW p.a.r./e.u.v.	-
c	470,000-862,000 MHz	50 mW p.a.r./e.u.v.	-
d	863,000-865,000 MHz	10 mW p.a.r./e.u.v.	-
e	1785,000-1795,000 MHz	20 mW p.i.r.e./e.i.u.v. 50 mW p.i.r.e./e.i.u.v.	-
f	1795,000-1800,000 MHz	20 mW p.i.r.e./e.i.u.v. 50 mW p.i.r.e./e.i.u.v.	-

Tableau extrait de la décision du Conseil de l'IBPT du 3 septembre 2008 relative à l'interface radio des ACP

Historiquement, ce sont les bandes VHF que les systèmes Hfs miniaturisés utilisaient, puis les bandes UHF entre 470 et 862 MHz. Les bandes VHF ont été progressivement de moins en moins utilisées. En France, comme en Belgique les systèmes de micros sans fil, peuvent être exploités sans licence, pour peu qu'ils respectent une largeur de canal maximum de 200kHz, afin de ne pas interférer avec les autres équipements de radiocommunication. En effet, ces bandes VHF ET UHF ne sont pas réservées à nos émetteurs ! Elles sont principalement utilisées par les canaux de télévision analogique et de radiodiffusion et les micros sans fils sont autorisés à se faire une petite place là-dedans. On peut voir ci-dessous un schéma montrant l'occupation du spectre 470-862 MHz avant 2005.

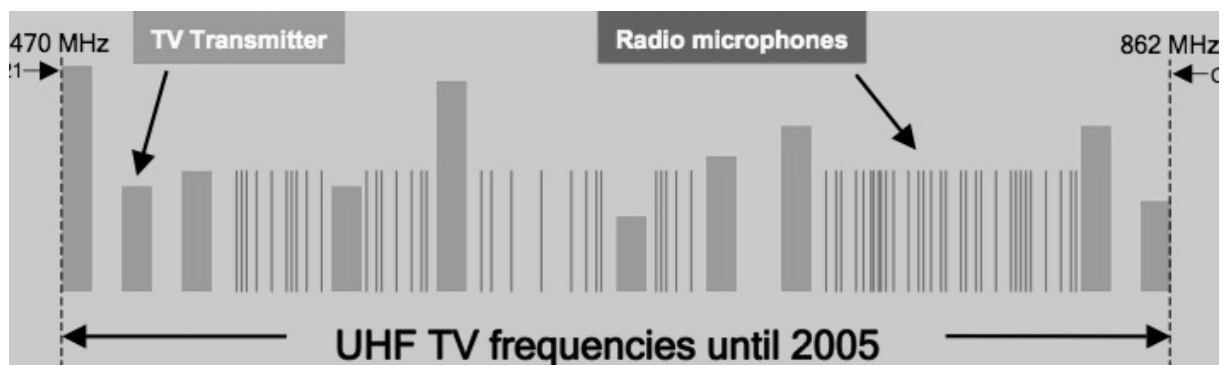
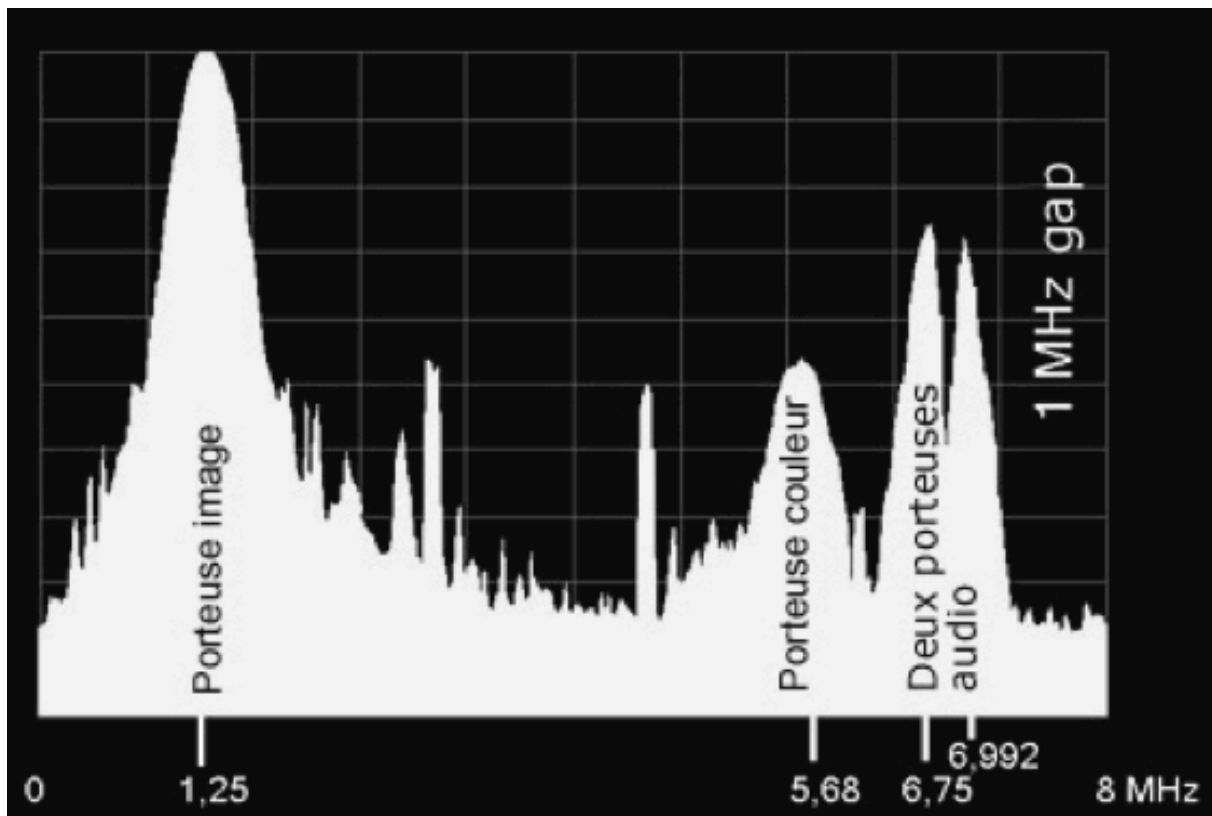


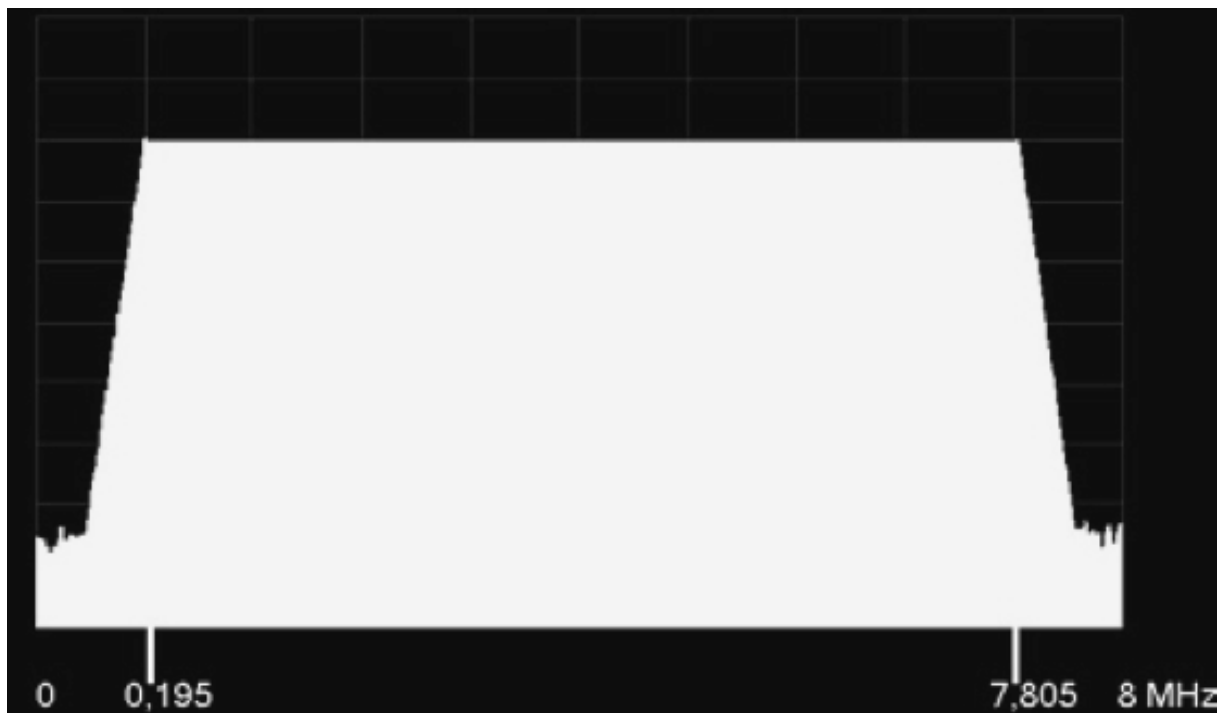
Schéma tiré de la formation Sennheiser sur les transmissions Hfs.

Si 2005 est une année importante, c'est parce que c'est à partir de janvier 2005 que les premières chaînes de TNT (Télévision Numérique terrestre) ont été lancées. Depuis la TNT a progressivement remplacé la télévision analogique, dont l'arrêt est prévu pour le 1^{er} décembre 2011. Or la « libération » des canaux analogiques et leur remplacement par la TNT n'a pas de conséquences heureuses sur les utilisateurs de systèmes micros Hfs.

En effet, ce qui permettait aux preneurs de son d'utiliser les canaux UHF et VHF, c'est la nature du spectre d'un signal analogique, représenté ci-dessous :



Il y a dans les canaux TV analogiques des zones de plus faible puissance d'une largeur supérieure à 200kHz (jusqu'à 1MHz), c'est pourquoi les systèmes Hfs miniaturisés pouvaient y fonctionner. En revanche, ces zones plus faibles d'une largeur de bande supérieure à 200kHz n'existent pas dans le spectre du signal numérique !



Il n'est donc pas possible d'émettre dans ces canaux numériques sans créer ou subir des interférences. La TNT s'installant dans les bandes de 470 à 790 MHz, les systèmes émetteurs-récepteurs fonctionnant dans ces gammes de fréquences ne seront plus utilisables ni en France, ni en Belgique à partir du 1^{er} décembre 2011.

D'autre part, certains canaux analogiques sont libérés sans être réutilisés pour la TNT mais ils ont été attribués aux opérateurs de téléphonie mobile pour les transmissions vidéo des smartphone par exemple ! Les bandes des 790 à 862 MHz ne seront donc plus utilisables non plus, à l'exception de la sous bande 823-832 MHz, qui correspond à l'écart duplex des gsm.

Comme il est fort peu probable que des espaces soient libérés dans le spectre pour les systèmes Hfs miniaturisés, les institutions nationales et européennes recommandent aux fabricants et aux utilisateurs un certain nombre de mesures (d'après une conférence d'Emmanuel Faussurier de l'ANFR, donnée en janvier 2011 à l'AFSI). La première est de revenir à des émetteurs-récepteurs utilisant les bandes VHF 174-223 MHz. D'après le fabricant Audio Ltd, c'est quelque chose de tout à fait envisageable.

L'autre solution consisterait à monter dans le spectre, en créant des équipements pouvant fonctionner entre 1785 et 1800 MHz (ces bandes sont d'ailleurs déjà présentes sur les tableaux ci-dessus). Mais les professionnels se sont pas convaincus par cette proposition car une transmission avec une fréquence porteuse autour de 1,8 GHz est moins fiable qu'en UHF dans les puissances auxquelles travaillent les systèmes miniaturisés. En effet, plus on monte en fréquence et moins la portée sera grande, l'onde sera plus sensible aux réflexions et aux absorptions (le corps humain par exemple), il faudrait donc des puissances d'émission plus grandes. Or, la loi fixe la puissance d'un émetteur miniaturisé à 50mW maximum. Par ailleurs, d'après certains fabricants, créer des systèmes dans cette bande de fréquence coûte plus cher.

Pour l'instant, aucun des fabricants majeurs ne fait mention du lancement de nouveaux systèmes fonctionnant en VHF. En revanche, les systèmes proposent de plus en plus de fréquences porteuses possibles, jusqu'à 256 canaux ! afin d'assurer une plus grande flexibilité face à l'encombrement grandissant du spectre électromagnétique.

Dans cette « bataille » pour l'occupation du spectre électromagnétique, les systèmes Hfs de plateau ne pèsent pas bien lourd. Les technologies évoluent très vite et les instances suivent tant bien que mal, mais malheureusement trop souvent pour entériner un état de fait plutôt que pour prévoir des aménagements.

Conclusion

Des années de recherches scientifiques ont permis la découverte du phénomène électromagnétique, dont les possibilités d'utilisation pour la transmission d'informations semblent infinies !

La technologie permettant la mise en place de ces systèmes de transmission Haute fréquence est en constante évolution dans tous les domaines d'application.

Les systèmes émetteurs-récepteurs Hfs destinés au monde audioprofessionnel possèdent un certain nombre de caractéristiques, de possibilités et de limites, qu'il est important de connaître afin de pouvoir les utiliser au mieux.

Nous allons voir maintenant quels sont les impacts de tels systèmes dans le travail des professionnels du son au cinéma et de quelle manière ils sont intégrés dans l'élaboration d'une bande sonore.

Partie 2 : L'emploi des Hfs dans l'élaboration
d'une bande-son.

Maintenant que nous avons vu les bases de la transmission Hf et la technologie des systèmes utilisés sur les plateaux, nous allons nous intéresser à leur intégration dans la pratique de la prise de son plateau mais aussi dans la post-production. Il sera majoritairement question de projets de cinéma, mais nous évoquerons parfois les téléfilms. Je précise aussi que nous nous placerons uniquement dans un point de vue européen et plus précisément franco-belge, tant au niveau de l'historique des technologies qu'au niveau de la pratique.

Lorsque l'on rencontre des professionnels du son au cinéma et plus particulièrement de la prise de son, on est frappés par la diversité des attitudes vis-à-vis de ces petits micros sans fil et la seule constante, c'est qu'ils posent question !

Les grands axes de réflexion de cette deuxième partie seront : les manières d'utiliser les systèmes émetteurs-récepteurs Hfs dans la chaîne du son, les changements qu'ils ont apportés et les problématiques qu'ils posent.

Tout d'abord, commençons par un petit historique de la prise de son au cinéma. Selon Jean-Pierre Verscheure, l'histoire de l'enregistrement sonore peut se diviser en trois périodes.

La période électrique (1925-1948) :

C'est durant cette période que sont inventés l'enregistrement optique sur pellicule d'une part et l'enregistrement sur disque, le procédé Vitaphone par exemple, d'autre part. C'est la période de l'avènement du cinéma sonore, toujours représenté par la date de sortie du film *Le Chanteur de Jazz*. Jusqu'en 1930, le dispositif d'enregistrement sonore est tellement lourd et le son si nouveau, qu'il est roi sur le plateau. Les caméras sont enfermées dans des boxes, car elles sont très bruyantes. Les micros sont pendus sur les plafonds techniques et les comédiens doivent intégrer dans leurs déplacements la position du micro.

Mais dès l'année 1929, des caméras « silencieuses » sont inventées, en 1931 les perches télescopiques sur tripodes roulants apparaissent et le cinéma peut se remettre en mouvement. C'est la période des expérimentations audio-visuelles : « René Clair, Abel Gance, Charlie Chaplin, King Vidor, Dziga Vertov profitent du flottement pour oser des combinaisons qui ne ressemblent pas à celles du monde réel ». (L. Jullier, *Le son au cinéma*).

Le dispositif sonore reste très lourd : 3 personnes pour un camion son contenant la caméra sonore.

La période magnétique (1948-1985) :

L'année 1948 est retenue car c'est celle où les enregistreurs sur bande magnétique se généralisent. En réalité, ils existent depuis le début des années 30. Le passage du son optique

au son magnétique (à l'enregistrement et en montage pas en diffusion) se fait durant l'année 1951. Ces machines sont certes plus pratiques que la caméra optique sonore, mais elles restent très encombrantes, peu sensibles et elles sont toujours placées dans les camions son. Quant aux perches, elles sont toujours très lourdes et montées sur des grues. Faire du son synchrone exploitable dans le reste de la chaîne reste quelque chose de relativement compliqué en studio et de quasiment inenvisageable en décors naturels. En revanche, la post-synchronisation est reine !

C'est pendant les années 50, que le son va connaître plusieurs changements déterminants : l'apparition du premier enregistreur magnétique portable le Nagra 1 en 1951, les premiers enregistreurs stéréophoniques en 1953. L'amélioration des techniques de synchronisation de l'enregistreur son (qui s'est généralisé dans le monde professionnel sous la forme des Nagras) voit son apogée en 1962, avec l'invention du système néopilot.

Les années 60 voient le développement de l'école du son direct, sous l'influence d'opérateurs son comme Antoine Bonfanti. École qui perdure encore de nos jours dans les cinémas français et belges.

Durant les années 70 et 80, le son connaît de nouvelles grandes révolutions technologiques mais ce sera l'objet du premier paragraphe de cette partie.

A partir de la deuxième moitié des années 80 et jusqu'à aujourd'hui, le son entre dans sa *période numérique*.

I. Évolutions ayant amené ou accompagné les Hfs :

Si un tournage sans Hfs est de nos jours une situation extrêmement rare, il n'en a pas toujours été ainsi. Nous allons tenter de voir quels sont les facteurs historiques qui ont influencé cette généralisation, qu'ils soient de nature technologique, environnementale ou financière.

Il ne s'agit pas ici de passer en revue les avantages des Hfs qui font que leur utilisation peut-être intéressante pour telle mise en scène ou telle « intention sonore » (ces paramètres seront discutés dans les paragraphes suivants où il est question de leur emploi à chaque étape de la production d'un film) mais de parler des évolutions de la production cinématographique ayant influencé le développement des systèmes Hfs.

A. Du mono au multipiste : l'évolution des enregistreurs

S'il y a un élément indissociable de la généralisation des systèmes Hfs sur les plateaux de tournage c'est bien l'enregistrement bipiste puis multipiste. En effet, les développements des enregistreurs multipistes et des systèmes Hfs de cinéma se sont faits en parallèle.

Les premiers systèmes Hfs (développés à l'origine pour des applications d'espionnage) ont commencé à être commercialisés pour le public vers la fin des années 50 et c'est dans les années 60, qu'ils font leur apparition sur les plateaux de télévision (en France en tout cas). À la fin des années 60 naissent aussi les capsules cravates à destination des systèmes Hfs.

Il semble que le premier tournage de long-métrage incluant des capsules cravates Hfs soit celui de *MASH* de Robert Altman en 1970. Quant aux premiers enregistreurs bipistes portatifs fiables à destination des professionnels de la prise de son cinéma et télévisuelle, le Nagra IV-S et le Stellavox SP7, ils ne sont arrivés sur le marché qu'en 1971-72.

Jusqu'alors (et pendant longtemps encore pour certains) les opérateurs son mixaient la ou les perche(s) et les éventuels micros d'appoint et couchaient ce mélange sur une bande mono. Leur mixage était définitif puisqu'il n'y avait plus moyen ensuite de retoucher à cet équilibre. De plus, les enregistreurs de plateau stéréo ou mono, tel que le Nagra 4.2 par exemple, ne possédaient souvent pas plus de 3 entrées micros. Le nombre de microphones utilisables était donc limité. Et l'emploi de plusieurs microphones impliquait une grande dextérité puisqu'il n'était pas question ensuite de corriger l'enregistrement. Les chefs opérateurs son à cette époque :

« prenaient des risques, artistiques, techniques, avaient leur style ».

Dominique Hennequin²⁶

Avec l'apparition du bipiste, il va être possible d'enregistrer séparément la perche et le(s) micros d'appoint, Hfs ou non. Ainsi, il est possible d'utiliser un ou deux Hfs ponctuellement en les modulant sans qu'une erreur de manipulation ne compromette la modulation de la perche, qui reste le microphone principal. Cela permet aussi de ne pas prendre trop de temps au moment du tournage pour filtrer les Hfs, opération souvent nécessaire et qui sera réalisée au mixage plus finement. De plus, les systèmes Hfs étant relativement peu sûrs à cette époque (problèmes de décrochage notamment) les enregistrer à part était une sécurité.

²⁶ extrait d'un article issu du dossier, *Le son aujourd'hui*, revue *Positif*, n° 589, mars 2010.

Durant 20 ans, l'enregistrement bipiste sera la norme. Les petites consoles, de type Sonosax se développeront aussi, permettant l'utilisation de plus en plus de micros autres que la perche, dont les micros cravates Hfs. Nagra déclinera le IV-S en lui apportant des améliorations (le IV-S Time Codé en 1981) et les enregistreurs portables numériques (les enregistreurs Sony au format R-DAT en 1987 par exemple) feront leur apparition mais toujours en deux pistes. Les systèmes Hfs des constructeurs tels que Micron, Sennheiser, Audio Limited, s'amélioreront en termes de solidité de transmission, de qualité de reproduction sonore et de miniaturisation, les rendant de plus en plus fiables pour une utilisation sur un plateau de tournage.

C'est en 1992 que fut lancé le premier enregistreur numérique multipiste, le Nagra D au congrès de l'AES. C'est un enregistreur à bande quart de pouce, qui permet de faire du bipiste ou du 4-pistes. Suivra ensuite le DEVA de Zaxcom (1996) enregistreur 4 pistes sur disque dur, qui sera décliné en de nombreux modèles jusqu'à arriver à la version actuelle qui permet 10 pistes d'enregistrement. En 2003, le Cantar-X d'Aaton est lancé sur le marché, permettant 8 pistes d'enregistrement. C'est aujourd'hui l'un des enregistreurs les plus utilisés sur les plateaux de tournage. Les enregistreurs Sound Devices bi-pistes, 4-pistes et 8-pistes sont à noter car ils sont aussi beaucoup utilisés. Mais détailler tous les enregistreurs portables multipistes existant actuellement n'étant pas le but de cette étude, nous nous arrêterons là.

Ce qu'il est important de retenir c'est que l'augmentation du nombre de pistes d'enregistrement, change fondamentalement les possibilités de prise de son sur un plateau. Le chef opérateur son dispose d'un outil lui permettant d'enregistrer simultanément non seulement les voix de plusieurs manières différentes, mais aussi les ambiances (intérieures et extérieures) et tous les sons ponctuels qu'il juge nécessaire à la bande son d'une séquence (pas d'un comédien, son de telle action particulière...). Mais pour cela, il doit augmenter le nombre de ses microphones et les systèmes Hfs ont profité de cette expansion des possibilités.

Toutefois le développement des Hfs n'est évidemment pas du uniquement à celui des enregistreurs, l'évolution des techniques de diffusion notamment a aussi aidé à leur généralisation.



Les enregistreurs Sound devices 788t, Nagra IV-S, et Cantar-X d'Aaton

B. L'évolution de la qualité de diffusion

En 1965 est inventé un procédé que nous connaissons tous et qui a révolutionné la diffusion sonore au cinéma : le procédé de réduction de bruit Dolby. Ce procédé, le A à cette époque, qui sera étendu au cinéma en 1971-1972 et qui connaîtra par la suite de nombreuses évolutions, a permis d'améliorer énormément la qualité de diffusion des films dans les salles. En réduisant le bruit de fond, en augmentant la dynamique et la bande passante, mais aussi à partir du début des années 80 avec le Dolby Stéréo Surround, en permettant la diffusion en multicanal (voies Left, Right, Center et Surround), il va apporter de nouvelles possibilités et de nouvelles attentes dans la composition des bandes sonores. Le dolby n'est évidemment pas le seul paramètre à prendre en compte, il y a eu (et il y a encore) une amélioration de toute la chaîne de diffusion sonore : amplificateurs, haut-parleurs...

Avec l'augmentation de la dynamique et de la bande passante, plus de contrastes sont possibles, on peut faire entendre au cinéma des sons qui ne passaient pas avant. Comme l'écrit Michel Chion :

Le Dolby permet de « multiplier les sensations sonores sans les réserver à des séquences particulières, et d'en faire un véritable environnement »²⁷.

Si plus de précision est possible pour les bruits environnant les comédiens, elle l'est aussi pour les bruits de présence de ces derniers (frottements, respirations...), il va y avoir un phénomène de « prolifération du sensuel et du sensoriel »²⁸. Les systèmes Hfs utilisés avec des capsules cravates sont un outil qui paraît totalement adéquat pour obtenir cet effet et ce dès le tournage, sans attendre les bruitages.

Par ailleurs, une meilleure intelligibilité des voix devient possible et là où dans un film des années 60-70, une réplique pouvait être inaudible sans desservir la narration, on va évoluer vers une envie de « tout entendre » des voix.

« Aujourd'hui, les voix sont de plus en plus présentes, précises, fines »²⁹

Pierre Gamet, chef opérateur son.

Et les systèmes Hfs + capsules cravates sont une manière de capter les voix ainsi.

Depuis le début des années 80, au cinéma mais aussi à la radio et à la télévision, il y a moins de souffle, les voix sont plus claires, plus « propres ». Nos oreilles sont éduquées différemment quant à la qualité de reproduction sonore et le chef opérateur son doit avoir des

²⁷ dans *Un art sonore, le cinéma*, Cahiers du Cinéma, Paris, 2003

²⁸ *op. cit.*

²⁹ dans *Le Son Direct au Cinéma*, Sophie Chiabaut, Claudine Nougaret, FEMIS, Paris, 1997.

outils qui vont permettre de capter cette présence et cette « propreté » des voix. L'utilisation des capsules cravates Hfs s'est inscrite dans cette tendance au même titre que l'évolution des micros perche (passés des micros dynamiques à des micros statiques plus sensibles).

De nos jours, avec l'amélioration de la qualité des haut-parleurs domestiques et le développement des « home cinéma », ce mouvement continue de prendre de l'ampleur, les directs doivent être propres à tout prix.

C. Facteurs financiers et environnementaux

Au-delà de l'évolution des techniques d'enregistrement et de diffusion du son, d'autres facteurs peuvent être envisagés qui ont eu une influence sur la généralisation des capsules cravates Hfs.

Tout d'abord, au niveau économique, l'emploi des systèmes Hfs est vu par les productions comme un des moyens d'augmenter la rentabilité d'un tournage en tournant plus vite sans devoir dépenser plus. Dans la production télévisuelle notamment, la durée d'un tournage pour obtenir un film de 52 minutes étant bien moindre qu'en production cinématographique, l'utilisation de plusieurs caméras (deux la plupart du temps) filmant simultanément la même action mais avec des valeurs de plans différentes est une méthode très utilisée. Mais dans cette configuration, la perche doit se placer en fonction du cadre le plus large et ne sera pas en mesure d'assurer le bon plan sonore sur l'image de l'autre caméra.

Autre exemple possible : si les deux caméras sont utilisées chacune sur un personnage différent afin de filmer un champ/contrechamp en « live », alors le perchman risque de ne pas avoir la latitude nécessaire pour assurer les deux personnages sans entrer dans un des cadres ou sans gêner la lumière. L'emploi d'une deuxième perche pourrait alors être une solution, mais cela implique une personne en plus. L'utilisation des micros cravates Hfs en revanche permet d'assurer à tous moments la prise de son des voix et d'avoir une continuité sonore sur chacun des personnages quelque soit la valeur de plan. Multi-caméra et Hfs sont quasiment indissociables de nos jours.

Un autre élément qui a pu influencer la généralisation des systèmes Hfs est l'augmentation du niveau de l'environnement sonore. En effet, depuis les années 70, même si les véhicules et les avions sont de plus en plus silencieux, ils sont aussi de plus en plus nombreux et dans les villes comme dans les campagnes cela a pour conséquence la présence

d'une rumeur continue permanente. Elle est due au trafic aérien qui s'est considérablement développé, au trafic routier qui a triplé et à toutes les activités industrielles urbaines ou péri-urbaines. L'augmentation de ces nuisances sonores a des conséquences sur l'industrie cinématographique, puisqu'il existe en France et en Belgique une grande tradition de tournage en décors naturels. Tous les opérateurs son se sont retrouvés confrontés un jour à un décor bruyant où la perche va capter énormément de bruit de fond indésirable. Et dans un tel cas, les Hfs et leur prise de son de proximité sont indispensables car ils sauvent le son direct. Le niveau de bruit d'une rue d'une grande ville est tel de nos jours, qu'il est quasiment impossible de se passer des cravates Hfs en extérieur ! Et même lors d'un tournage dans un appartement, l'usage des Hfs peut se révéler nécessaire à cause de la rumeur de la rue ou des bruits d'activité humaine. Il est bien des situations où les Hfs se révèlent un outil essentiel.

II. Les Hfs et la prise de son sur le plateau

Nous allons tenter dans cette sous-partie de dégager les grandes lignes de la pratique des systèmes Hfs sur le plateau et de faire le tour des problématiques posées leur utilisation.

Afin de recueillir des informations pour cette partie, j'ai soumis à des chefs opérateurs son et à des perchmans un formulaire de 40 questions (voir Annexe), soit via un lien direct avec eux, soit via le site de l'AFSI (Association Française du Son à l'Image). J'ai pu collecter une soixantaine de réponses. En plus du questionnaire, j'ai pu avoir des entretiens plus poussés avec certains chefs opérateurs, que je citerai le cas échéant. Enfin, j'utiliserai aussi des extraits du livre de Sophie Chiabaut et Claudine Nougaret, *Le Son Direct au Cinéma*, qui s'il a maintenant 14 ans reste un ouvrage très exhaustif sur le métier de chef opérateur son.

A. Préparation du tournage :

L'utilisation de systèmes Hfs requiert dès la pré-production une attention particulière de l'opérateur son. En effet, nous en avons parlé à la fin de la partie précédente, l'encombrement évolutif du spectre hertzien, les différentes réglementations nationales, européennes et mondiales soulignent l'importance d'accorder de l'attention aux choix des systèmes en fonction de leur bande de fonctionnement et du lieu de tournage.

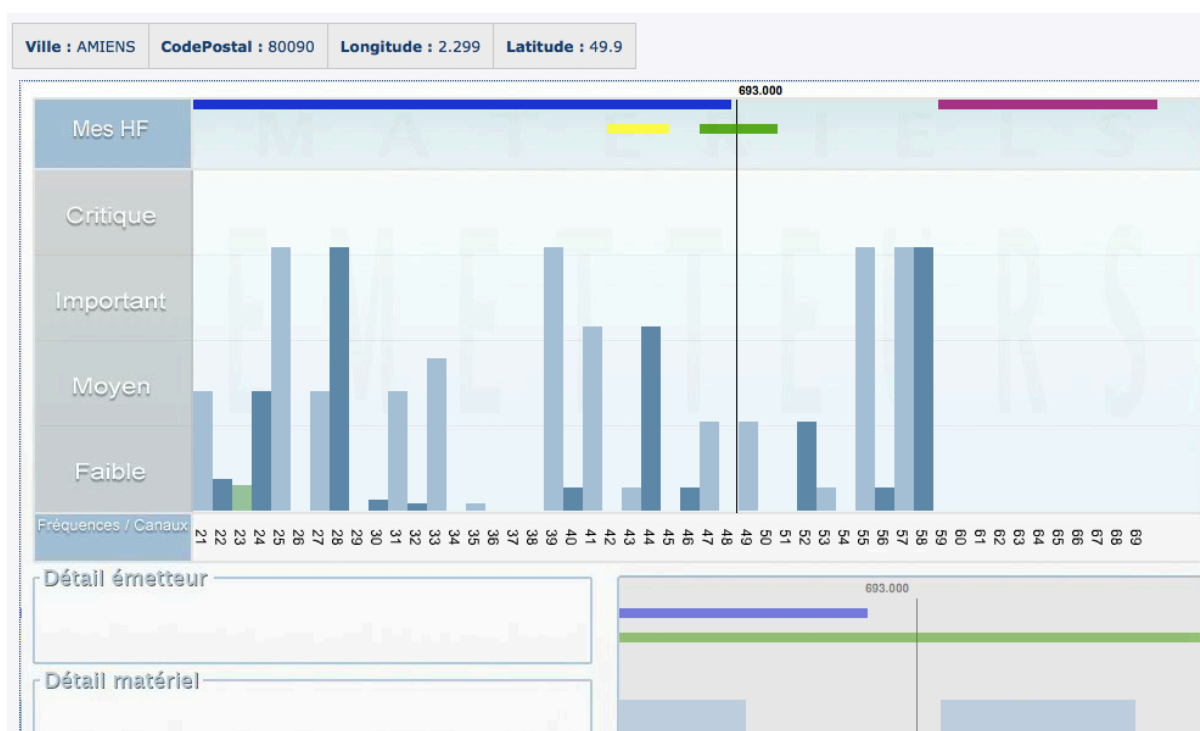
Un ensemble émetteur-récepteur couvrant une certaine bande de fréquences, de 678 MHz à 710 MHz par exemple, sera peut-être parfaitement utilisable à Paris sur certaines de ses

fréquences mais sur des fréquences différentes ou même pas du tout à Amiens. Selon le lieu de tournage, les émetteurs de radio ou de télévision seront plus ou moins nombreux, plus ou moins proches, n'émettront pas sur le même canal, ni à la même puissance qu'en un autre lieu et seront par conséquent plus ou moins perturbants pour notre système. Avoir accès à ces informations se révèle de plus en plus vital pour le preneur de son.

De plus, l'environnement « hertzien » d'un décor va entraîner des considérations très pratiques. Si l'opérateur son ne dispose pas de son propre matériel, cela influera sur le choix de tel ou tel loueur selon les équipements qu'il propose et s'il possède ses émetteurs-récepteurs, il est important qu'il sache s'ils seront utilisables afin de ne pas se retrouver coincé par un manque de ressources en fréquences. Enfin, si un film implique de nombreux changements de lieux de tournage les risques s'en trouvent multipliés.

Une solution consiste à avoir des repérages sur les différents lieux de tournage, mais cela coûte de l'argent à la production et est loin d'être souvent accepté. Si ce n'est pas possible, et que les tests de transmission Hf ne peuvent être faits qu'une fois sur le décor, cela va demander un temps à l'équipe son dont elle ne dispose pas forcément et si un véritable problème d'interférences se pose, il sera un peu tard pour le résoudre. Il y a quelques années, dans le cas d'un tournage dans de nombreux endroits différents, une autre solution était de passer plusieurs heures à chercher des informations de localisation, de canal et de puissance d'émission sur les émetteurs de radio et de télévision implantés autour du décor. De nos jours, plusieurs outils existent afin de faciliter le choix du preneur de son.

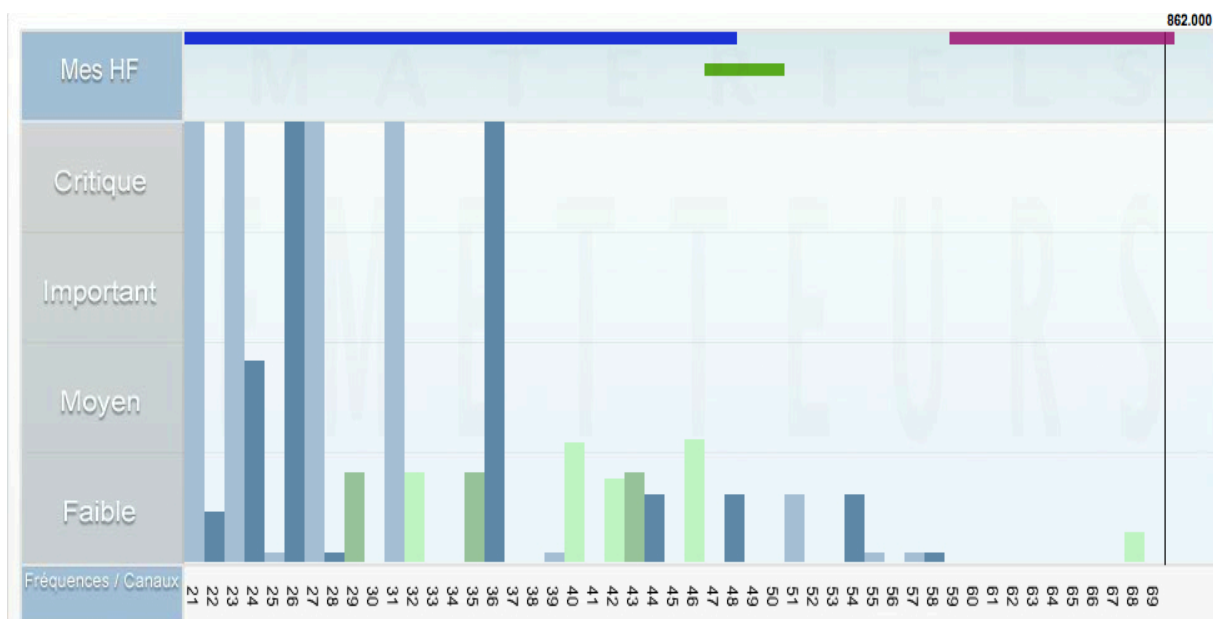
Un site comme celui de Sennheiser par exemple, propose une application en ligne qui permet de vérifier les canaux UHF disponibles dans les communes de Belgique, du Luxembourg et des Pays-Bas. Et de manière beaucoup plus poussée, en France, DCA et Tapages (loueurs de matériel) ont développé le site *Scanzone*. Grâce à ce site, un opérateur son peut entrer les bandes de fréquences des différents émetteurs qu'ils possèdent, choisir une ville (en France) et voir très clairement les canaux dans lesquels il pourra les utiliser. Voici ci-dessous une capture d'écran de *Scanzone* :



La ligne supérieure montre les bandes de fréquences des différents émetteurs, les barres sont les autres types d'émetteurs présents sur le lieu et leur numéro de canal, et la colonne tout à gauche indique le niveau de risque d'interférences qu'ils peuvent engendrer. Ce site est un outil formidable, car il permet non seulement de connaître les canaux inutilisables, mais aussi de configurer à l'avance ses émetteurs sur les fréquences optimales (la fenêtre en bas à droite est un zoom dans le graphique afin d'avoir plus précisément les valeurs des fréquences).

Un autre cas problématique qui se pose est celui d'un film en co-production entre deux (ou plusieurs) pays. En effet, selon les territoires, le spectre de diffusion ne sera pas occupé de la même manière et les réglementations seront différentes. Par exemple, un chef opérateur son qui doit partir sur le continent américain a tout intérêt à se renseigner préventivement sur les réglementations en vigueur dans le pays où il va et les canaux disponibles à l'endroit où le tournage aura lieu. À une plus petite échelle géographique, même si l'Union Européenne est en pleine recherche d'harmonisation d'occupation du spectre, un tournage dans deux pays aussi proches que la Belgique et la France implique de s'intéresser à la question.

Imaginons le cas d'une coproduction dont le tournage aura lieu à Valenciennes et à Verviers. Supposons que nous disposons d'un émetteur Micron SDR550 dont les fréquences vont de 678 à 710 MHz, d'un émetteur Sennheiser SK5212, fonctionnant de 776 à 866 MHz et d'un Lectrosonics SMV sur une bande de 470 à 691MHz. Entrons ces données sur le site de Scanzone pour avoir les données de Valenciennes :



Aucune perturbation sur le Sennheiser (en mauve), le Micron (en vert) est utilisable dans 3 canaux complètement libres et le Lectrosonics dans 8.

Voyons sur le site de Sennheiser l'occupation des canaux UHF à Verviers :

AVAILABLE FREQUENCIES & CHANNELS

Channel	Frequency	Channel	Frequency	Channel	Frequency	Channel	Frequency
21	470 - 478 MHz	34	574 - 582 MHz	47	678 - 686 MHz	60	782 - 790 MHz
22	478 - 486 MHz	35	582 - 590 MHz	48	686 - 694 MHz	61	790 - 798 MHz
23	486 - 494 MHz	36	590 - 598 MHz	49	694 - 702 MHz	62	798 - 806 MHz
24	494 - 502 MHz	37	598 - 606 MHz	50	702 - 710 MHz	63	806 - 814 MHz
25	502 - 510 MHz	38	606 - 614 MHz	51	710 - 718 MHz	64	814 - 822 MHz
26	510 - 518 MHz	39	614 - 622 MHz	52	718 - 726 MHz	65	822 - 830 MHz
27	518 - 526 MHz	40	622 - 630 MHz	53	726 - 734 MHz	66	830 - 838 MHz
28	526 - 534 MHz	41	630 - 638 MHz	54	734 - 742 MHz	67	838 - 846 MHz
29	534 - 542 MHz	42	638 - 646 MHz	55	742 - 750 MHz	68	846 - 854 MHz
30	542 - 550 MHz	43	646 - 654 MHz	56	750 - 758 MHz	69	854 - 862 MHz
31	550 - 558 MHz	44	654 - 662 MHz	57	758 - 766 MHz	1800 Mhz (1G8)	1785 - 1795 MHz
32	558 - 566 MHz	45	662 - 670 MHz	58	766 - 774 MHz	1800 Mhz (1G8)	1795 - 1800 MHz
33	566 - 574 MHz	46	670 - 678 MHz	59	774 - 782 MHz		

Free for use (max. 50mW)	Mic & Wireless Monitoring
Usable with license (max. 200mW)	Intercom & Wireless Monitoring
Usable with license (max. 50mW)	Mic, inside use
Use not allowed	
Usable with license (20 mW Handheld/ 50 mW Body)	Mic & Wireless Monitoring

L'émetteur Micron est inutilisable, le SK5212 peut-être utilisé uniquement sur le canal 69 et le Lectrosonics sur deux canaux. Et encore ce tableau ne nous permet pas de nous rendre compte de la puissance des émetteurs proches et d'en déduire leur possible influence. Il faut noter qu'à partir du 1^{er} décembre, les opérateurs mobiles entrant dans les bandes de

fréquences de 790 à 862 MHz, le nombre de canaux disponibles va encore considérablement se réduire.

Un tournage avec des Hfs dans deux villes du même territoire, et à fortiori dans deux pays différents demande une certaine attention de l'opérateur son s'il veut limiter les risques liés aux transmissions Hf. Utiliser des systèmes Hfs a donc des conséquences en termes de temps de travail et de coût de production dès la préparation d'un projet.

B. Les Hfs, les voix et les autres sons

Placement des capsules, contact avec les comédiens

Lorsque l'on parle de systèmes cravates Hfs, on pense immédiatement aux voix. En effet, la première mission de cet outil est de capter les répliques des comédiens. Pour cela, il faut tout d'abord placer correctement les capsules cravates. Or, ce n'est pas toujours quelque chose d'aisé. Il faut faire un compromis entre le bon placement de la capsule pour le meilleur rendu, la discrétion du boîtier émetteur et du microphone, et les contraintes imposées par les costumes afin d'éviter tout frottement. D'après chaque chef opérateur son interrogé, ce sont les matières et les types de costumes qui posent le plus de difficultés. La soie, certains tissus synthétiques, les costumes très moulants (robes de soirée par exemple) ou encore l'absence de « véritables » costumes (maillot de bains) sont des facteurs à haut risque. Ils impliquent souvent de ne pas pouvoir placer la capsule de manière idéale pour le rendu de la voix, tout en garantissant le confort du comédien. En cas d'extérieurs, il faudra aussi prendre en compte la force du vent. La plupart du temps, la capsule est placée contre la poitrine du comédien, mais elle sera plus ou moins haute selon le costume, le sexe du comédien et le chef-opérateur qui la place. Une autre méthode qui est usitée dès que possible, est le placement de la capsule sur le front, à l'aplomb des cheveux. Les preneurs de son la préfèrent car elle permet d'éviter l'effet d'accentuation des médiums que le placement sur la cage thoracique induit.

Dans tous les cas, il faut savoir faire preuve d'imagination lorsqu'il s'agit de cacher un micro émetteur ! Les roulantes des équipes son regorgent d'accessoires divers : gaffer, sparadrap, pastilles double-face de la taille de la capsule, pâte américaine, pâte collante transparente, minuscules pinces micro, épingles à cheveux, épingles à nourrice, bandes élastiques pour fixer l'émetteur sur la cuisse d'un personnage en jupe, etc, etc... Chaque preneur de son a ses trucs et astuces quand il s'agit de placer les Hfs.

Par ailleurs, le membre de l'équipe son qui doit placer les capsules et l'émetteur doit aussi faire face à l'attitude des comédiens dans ce moment intrusif qu'est la mise en place d'un Hf. Un comédien ou une comédienne peu à l'aise avec ces systèmes ne facilitera pas le travail du preneur de son.

Chaque professionnel interrogé insiste sur l'importance d'établir une relation de confiance, très professionnelle et pleine de réserve avec le (ou la) comédien(ne) afin de contrebalancer l'intrusion et le côté « espion » du Hf. Certains précisent qu'ils préfèrent avoir une équipe son mixte car les comédiens et les comédiennes seront plus à l'aise si c'est une femme qui pose la capsule et le boîtier.

Les attitudes des comédiens vis à vis des Hfs sont très diverses. Certains sont connus pour les refuser catégoriquement, d'autres (et c'est quand même la majorité) sont habitués puisque l'utilisation de ces systèmes est entrée dans les mœurs depuis plus de 20 ans. L'âge et le domaine principal d'activité du comédien(ne) vont aussi jouer. Un acteur ayant connu l'époque sans l'utilisation systématique des Hfs sera plus susceptible d'être contre, alors qu'un(e) comédien(ne) travaillant depuis une dizaine d'années et principalement en production télévisuelle sera habitué(e) voire surpris(e) si on ne lui en pose pas ! Un chef opérateur m'a raconté une anecdote, où la jeune comédienne principale d'un long-métrage était tellement attentive à son microphone Hf qu'elle en a fait un cauchemar dans lequel elle oubliait de l'enlever avant de se jeter dans une piscine et se sentait ensuite terriblement coupable.,

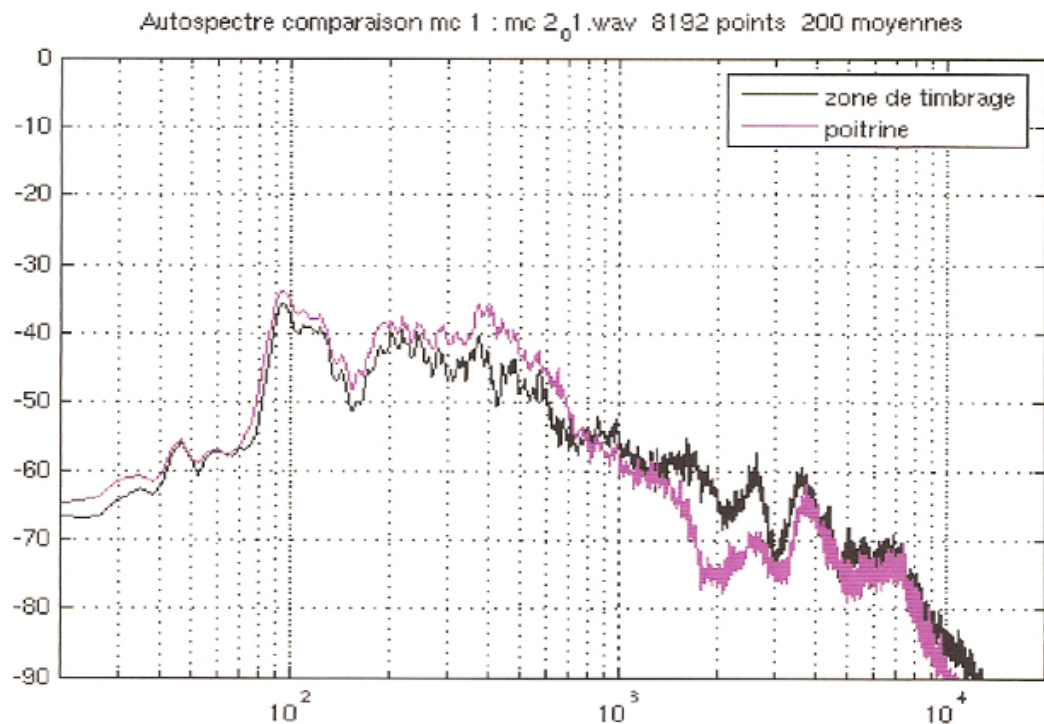
« Vive les comédiens qui se rendent compte qu'ils sont à la fois une image et un son ! », comme le dit Philippe Vandendriessche (chef opérateur son)

Selon les comédiens et le preneur de son, l'utilisation des capsules Hfs peut aussi permettre l'instauration d'une relation privilégiée, positive entre ces membres de l'équipe.

Qualité de reproduction d'un micro cravate Hf

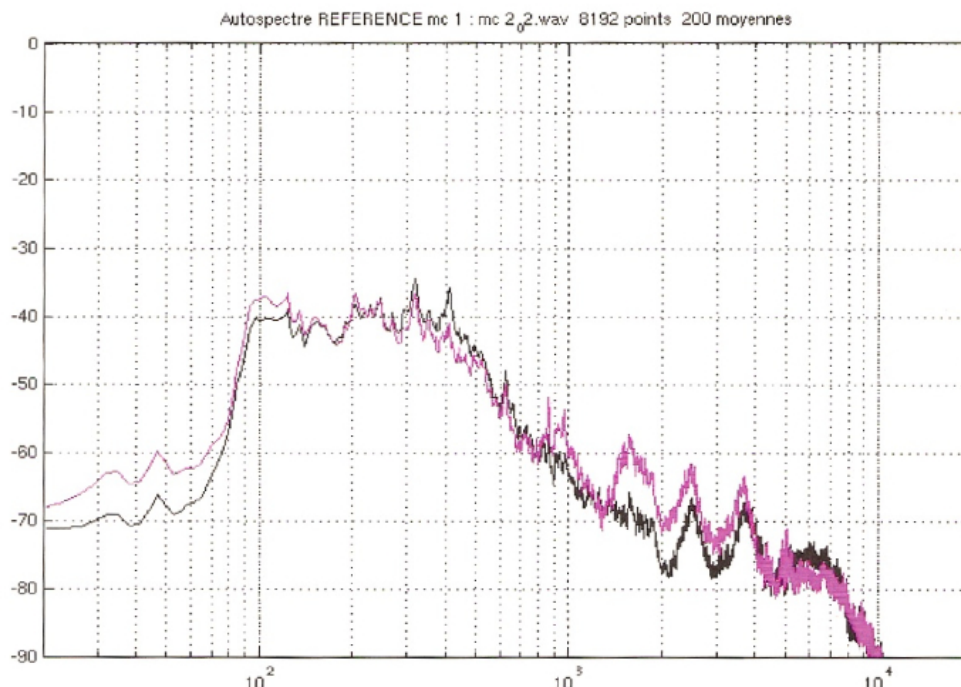
Lorsque l'on interroge des preneurs de son sur le rendu d'une voix via un ensemble capsule cravate Hf, il ressort qu'il est difficile de faire des généralités sur le sujet et que personne ne s'y risque. Chacun peut donner son avis sur telle ou telle marque de capsule (DPA, Sanken, Tram, omni ou cardioïde) selon le placement, les conditions extérieures et le type de voix (masculine ou féminine) mais tout finit par se résumer à une question de goût. Par exemple, dans les réponses au questionnaire, il y a autant de personnes qui m'ont indiqué trouvé qu'une voix de femme rend mieux qu'une voix d'homme, que de personnes qui m'ont répondu le contraire.

Une expérience réalisée en 2005 par Céline Guerbert, alors étudiante à Louis Lumière me paraît intéressante à inclure dans ce travail. Dans le cadre de son mémoire de fin d'études, elle a réalisé plusieurs mesures de réponse en fréquences de deux micros cravate Sanken Cos 11, en fonction du placement. Sur le premier graphique ci-dessous, nous pouvons voir les courbes de réponse de l'un placé sur la poitrine d'un homme et de l'autre à la place du positionnement idéal de la perche.



L'augmentation des bas médiums et l'atténuation des aigus à partir de 1kHz pour la capsule placée sur la poitrine sont nettement visibles sur cette courbe.

Dans un deuxième temps, l'expérience a porté sur la comparaison entre un micro cravate sur la poitrine et un autre dans les cheveux, à l'aplomb du front, toujours sur une voix d'homme.



note : la courbe rose correspond au micro « cheveux » et la courbe noire au micro « poitrine »

Étrangement la différence ne se note pas au niveau des médiums, mais beaucoup plus au niveau des aigus. En effet, à partir d'environ 1,5 kHz, le micro placé dans les cheveux accentue les fréquences de 10dB par rapport à celui posé sur la poitrine. Or, cette zone correspond à la clarté de la voix, ce qui explique la préférence des opérateurs son pour ce positionnement.

Pour ce qui est de la comparaison entre un microphone de perche et une capsule cravate Hf, nous l'évoquerons dans le paragraphe suivant.

Niveau d'enregistrement des Hfs

En ce qui concerne le niveau d'enregistrement des Hfs, les pratiques varient d'un preneur de son à un autre. Certains jouent le plan image avec les Hfs,

« Tout sur le monde sur le même plan sonore, c'est horrible ! Je travaille dans l'optique plan sonore, c'est un rapport à la largeur de plan de la caméra »,

Jean Paul Mugal³⁰ (chef opérateur son)

D'autres ne font leur niveau qu'en fonction du niveau de voix donné par les comédiens dans l'optique de « niveler et donner un moyen terme de présence sur les voix »

Eric Devulder³¹ (chef opérateur son)

Enfin pour beaucoup c'est au cas par cas selon les séquences et la plupart du temps, ils font un compromis entre le niveau de voix et le plan image.

³⁰ dans *Le Son Direct au Cinéma*, Sophie Chiabaut, Claudine Nougaret, FEMIS, Paris, 1997.

³¹ op. cit.

« Je les module à la fois au plan et en fonction du niveau des voix. Je ne pense que le but soit de coller "pile-poil" à la réalité mais il ne faut pas non plus partir trop loin dans l'artifice (sauf indications contraires du réalisateur évidemment). »

Guillaume Sciama (chef opérateur son)

Nous parlerons dans le paragraphe suivant de la manière de moduler les Hfs, en rapport avec la modulation de la perche.

Les voix des acteurs et les Hfs

Interrogeons nous d'ailleurs sur le lien entre l'utilisation des capsules cravates Hfs et le niveau de voix donné par les comédiens. Il est évident que depuis les années 70, le jeu des comédiens a évolué et leur manière de poser et de porter leur voix aussi. La tradition d'avoir une déclamation quelque peu théâtrale n'est plus et cela s'explique peut-être en partie par l'emploi de micros perches plus sensibles, des microphones cravates Hfs et par l'amélioration du niveau d'entrée des enregistreurs. Comme ils sont entrés dans les habitudes de prise de son, les comédiens (et les réalisateurs !) savent qu'ils disposent de ces outils pour se faire entendre sans avoir besoin de porter leur voix. Beaucoup d'opérateurs son partagent cet avis.

Dès 1997, Nicolas Naegelen disait :

« Si dans les années cinquante les acteurs posaient leur voix c'était parce que l'enregistreur placé dans le camion-son était assez mauvais et nécessitait beaucoup de niveau. Petit à petit, ces limites ont reculé. Pour moi, il existe une totale relation entre la baisse du niveau de la voix des acteurs et l'évolution des techniques »³².

De nos jours, les comédiens à la « voix blanche » comme disent les professionnels du son sont de plus en plus nombreux.

Les Hfs et les petits sons:

Enfin, s'il est vrai que les systèmes Hfs sont à l'origine destinés à la captation des voix, il est aussi tout à fait possible et même très intéressant de les utiliser comme micros d'appoint. La petite taille des capsules, la miniaturisation constante des boîtiers et l'absence de câble font de ces systèmes un outil idéal pour cacher des microphones dans le décor. Allant de pair avec l'enregistrement multipiste, beaucoup d'opérateurs son les utilisent afin de capter les petits sons qui font partie de la vie autour des comédiens : des bruits de pas, le choc d'une

³² dans *Le Son Direct au Cinéma*, Sophie Chiabaut, Claudine Nougaret, FEMIS, Paris, 1997.

tasse contre une table, les touches d'un téléphone... Cette manière d'utiliser les Hfs me semblent aller avec une certaine vision du rôle du chef opérateur son :

« Mon travail consiste à fournir toute la palette pour créer une bande sonore »

Guillaume Sciama³³

C. Perches ou Hfs ? Différences de pratique entre les deux

Rendu des voix : perche vs cravates Hfs.

Quand il est question de la qualité du rendu des voix via un micro perche et via une capsule cravate Hf, les réponses sont unanimes. Pour les preneurs de son, les micros perches ont une meilleure réponse en fréquence et une « couleur » de son plus jolie. Nous l'avons vu la captation d'une voix via un micro placé sur la poitrine d'un acteur, implique plus de basses, mais aussi des variations d'amplitude réduites et un timbre moins beau puisque la bande passante est plus étroite. Comme le dit Olivier Hespel, si les capsules cravates avaient un rendu équivalent aux micros perches, les perchmans « ne se trimballeraient pas 300 grammes au bout de leur perche alors qu'ils pourraient y mettre un micro de 2 grammes. »³⁴

En revanche, quand il est question d'une comparaison entre un micro perche en Hf et un micro perche câblé, le débat est ouvert.

Comme nous l'avons vu dans la Partie 1 de ce mémoire, il est vrai que les systèmes émetteurs-récepteurs Hfs ont des limites qui induisent certains défauts. La dynamique d'un câble est plus élevée, il peut y avoir en Hf un effet de pompage sur les niveaux forts du au compander, ou une action trop brusque du limiteur sur les transitoires ou encore un problème de détection des faibles niveaux qui sont alors assimilés à du bruit. Pour toutes ces raisons, un micro perche câblé semble plus intéressant.

Mais ces défauts n'ont pas d'effet sur tous les sons, et le câble a lui aussi des défauts (interférences avec le matériel électrique par exemple), c'est pourquoi si certains opérateurs son ne font pas confiance aux perches Hfs, de plus en plus nombreux sont ceux qui les utilisent, soit systématiquement, soit dans des conditions particulières. En effet, une perche Hf permet de se libérer de bien des contraintes :

³³ dans *Le Son Direct au Cinéma*, Sophie Chiabaut, Claudine Nougaret, FEMIS, Paris, 1997.

³⁴ dans *Le Son direct en montage, mémoire de fin d'études d'Elise Pascal*, INSAS, 2010.

« Elle permet de bien gérer l'espace, la présence de steadycam par exemple, ou encore les passages de porte. ».

Philippe Vandendriessche

La modulation.

En matière de modulation des émetteurs Hfs et de la perche et du rapport entre les deux, les pratiques varient d'un preneur de son à un autre. Certains « creusent » énormément les pistes Hfs afin de les ouvrir uniquement à l'attaque des répliques et les refermer ensuite, d'autres les laissent « respirer » plus dans la durée afin de capter les petits bruits de respiration par exemple.

Il y aussi ceux qui s'occupent principalement de la perche, ne modulent pas énormément les Hfs, mais les enregistrent à un niveau « nominal » afin qu'ils soient mixés en post-production. C'est le cas décrit par Philippe Vandendriessche :

« Modulation active et écoute attentive de la (ou des) perche(s), si on néglige de travailler ce son-là pour ne s'occuper que du mélange/ouvertures/fermetures des HF on perd l'objectif. Je préfère garder les HF comme sécurité, soigner leur placement et la gestion du niveau mais ne pas me concentrer sur ces pistes-là que le monteur son gèrera de façon plus précise et plus pertinente en post-production. »³⁵.

Enfin, beaucoup comme Dominique Lancelot, n'ont pas de règles pré-établies et mixent au feeling, à l'oreille, chaque séquence étant différente.

« Le rapport entre les deux se gère selon la présence, le timbre, l'inscription dans l'acoustique du lieu, les problèmes de frottements ou de timbre, au coup par coup, selon mon sentiment et mon intime conviction. Je fais des choix, sachant qu'on pourra dans une certaine mesure revenir dessus parce qu'ils ne sont pas forcément ceux qui seront adoptés au final et que les aléas de la technique et de mes propres erreurs existeront toujours. Mais le son que j'enregistre est celui que j'entends, et je me fie à ce que je ressens autant perceptivement qu'"artistiquement". »³⁶

Pour tous la perche reste le microphone principal (sauf situations contraignantes exceptionnelles ou demandes particulières de la mise en scène) et quand il est question de balance entre elle et les Hfs, les réponses sont très souvent « 80% de perche, 20% de Hfs ». Cette préférence est liée à la différence entre un micro perche et un micro cravate Hf par

³⁵ Réponse au questionnaire, *L'impact sur la prise de son plateau de l'utilisation de systèmes Hfs*.

³⁶ *op. cit.*

rapport à l'espace sonore et à l'espace visuel. Comme le dit Elise Pascal dans son mémoire de fin d'études :

« Le perchman accompagne les acteurs, travaille le son dans l'espace avant même qu'il ne soit modulé par l'ingénieur du son ».

Alors que le micro cravate reste fixe sur le comédien, le micro perche aide à capter toute la richesse sonore d'un lieu et il le fait en relation avec une image (si on lui en donne l'occasion). Cette gestion de la balance « perche, Hfs, plan image, plan sonore », qui commence au tournage mais revient tout au long de la post-production est en rapport direct avec l'esthétique sonore des voix dans une bande son et je reviendrai là-dessus lorsqu'il sera question de la place des Hfs dans les mixages.

D. La place de l'équipe son sur le plateau

Place physique du chef opérateur

La présence des systèmes Hfs dans l'attirail indispensable de tout preneur de son a aussi des conséquences sur le rôle et la place de chaque membre de l'équipe son sur un plateau.

Elle a des conséquences pratiques évidentes, puisque le volume du matériel de l'équipe son a considérablement augmenté en 20 ans (sans aller jusqu'au camion son de la période pré-Nagra !),

« En 1985, j'avais une perche, un Hf et un Nagra IV-S TC. En 2011, je ne pars plus en tournage sans 6 systèmes Hfs, un Cantar et la roulante qui va avec ».

Philippe Vandendriessche

Cette augmentation du matériel a une incidence sur la place physique du chef opérateur son sur le plateau et donc dans la dynamique relationnelle de l'équipe. Pour la majorité de ceux que j'ai pu interroger, le chef opérateur son se retrouve bien trop souvent isolé derrière ses antennes et son retour vidéo et ne peut plus être en contact direct avec la face. Ce qui l'empêche parfois d'avoir accès à certaines informations mais aussi de moduler en contact visuel direct avec les comédiens et non pas à travers le retour vidéo (mais certains aiment aussi cette façon de moduler).

Afin de pallier au problème, beaucoup de chefs opérateur son minimisent au maximum la taille de leur roulante, se placent toujours au plus près ou à défaut se déplacent énormément pour imposer leur présence sur le plateau, où le son est déjà souvent la dernière roue du carrosse. Un petit nombre de preneur de son déclare que cette situation de retrait peut aussi être un bien et que le perchman devient alors leur « œil sur le plateau ».

Mais l'emploi des Hfs et des roulantes ont aussi des conséquences positives sur la place de l'équipe son sur le plateau. En effet, selon beaucoup d'opérateurs le travail du son est ainsi plus visible à tous. Grâce à la place que prend la pose des micros cravates dans l'organisation du tournage d'une séquence et au contact avec les comédiens que cela suppose, l'équipe son n'est plus

« Ce binôme discret, dont personne ne comprend très, très bien
ce qu'il fait au juste.³⁷ »

Et pour Guillaume Sciama :

« Je préfère la roulante au nagra en bandoulière ; nous devons
occuper le terrain sinon nous n'existons pas.³⁸ »

Rôle de chacun, répartition des tâches, connaître son matériel :

Le rôle de chaque personne de l'équipe son a aussi changé face à l'utilisation des systèmes Hfs. Premièrement, selon les équipes, il est nécessaire de définir qui gère quoi. Est ce le chef opérateur ou le perchman qui place les micros cravates ? Qui s'occupe des batteries ? Dans les faits, il y quasiment autant de pratiques que d'équipes et de projets.

Que ce soit le perchman ou le chef opérateur qui place les capsules, il faut toujours être attentif à ce que cette activité ne les éloigne pas du plateau pendant trop longtemps. Il faut donc s'entendre avec les assistants réalisation afin qu'elle ait lieu sur le plateau et non pas dans les loges entre le moment où le comédien est costumé, maquillé, coiffé et le moment où il arrive sur le plateau. Mais certains comédiens ne veulent être équipés que par leur habilleuse, il faut alors donner l'émetteur et le micro à celle-ci et procéder à une retouche une fois l'acteur ou l'actrice arrivé(e) sur le plateau.

Le timing d'approche des comédiens est très important et dépend beaucoup de l'attitude du réalisateur et du premier assistant vis à vis du son. Si ces deux personnes sont respectueuses du son et connaissent (surtout pour l'assistant) les enjeux et les difficultés du

³⁷ Réponse anonyme au questionnaire, *L'impact sur la prise de son plateau de l'utilisation de systèmes Hfs.*

³⁸ dans *Le Son Direct au Cinéma*, Sophie Chiabaut, Claudine Nougaret, FEMIS, Paris, 1997.

métier des preneurs de son, le temps de pose sera pris en compte dans le planning et tout se déroulera pour le mieux.

L'utilisation des Hfs a aussi élargi le champ de compétences des chefs opérateurs et des assistants son. Nous en avons parlé dans la première partie de ce mémoire, la transmission électromagnétique malgré son caractère miraculeux peut être perturbée par de nombreux phénomènes, qu'ils aient leur origine à l'extérieur du plateau, dans le décor ou même sur la roulante de l'équipe son. L'emploi de plusieurs systèmes émetteurs-récepteurs simultanément est donc soumis à certaines règles, qu'il est important de connaître. L'écart minimal entre les fréquences centrales de deux canaux d'émission doit être au moins de 300kHz, voire 400kHz (selon la formation Sennheiser sur les micros Hfs) pour éviter l'intermodulation. Il faut aussi respecter un écart minimal entre les récepteurs, pour empêcher le rayonnement de l'un sur l'autre. Certains types de matériaux (métal, béton, foule de corps humains) sont à éviter entre l'émetteur et le récepteur et le trajet en onde directe doit toujours être privilégié. Il est vital que le chef opérateur comprenne les mécanismes mis en jeu et que l'assistant son soit à même de l'aider à installer et gérer les Hfs.

Afin que cette gestion par sa « lourdeur » ne focalise pas trop l'attention de l'équipe son et de ce fait nuise à leur implication dans des questions d'ordre artistique, il est nécessaire de trouver une organisation « optimale ».

Pour tous les preneurs de son que j'ai interrogé, la place donnée au perchman sur le plateau par le chef opérateur son n'a pas évolué, elle est toujours dominante par rapport aux microphones cravates Hfs. En revanche, la plupart soulignent le changement que les Hfs ont apporté dans la place que les autres membres de l'équipe de tournage donne au perchman. Ils trouvent que bien trop souvent l'image fait moins attention à la perche : l'équipe lumière fait de plus en plus rarement de couloirs de perche, les cadres sont parfois extrêmement larges, et certains plans en mouvement totalement « im-perchables » en tout cas sur leur entièreté.

À propos du tournage d'un film de Jacques Doillon, Jean-Claude Laureux raconte :

« Les plans sont tellement compliqués que certaines fois la perchiste ne peut pas travailler parce qu'elle est en reflet dans toutes les vitres, que la perche n'est utile que pour un ou deux mots pour une prise qui dure 6 minutes et que, finalement, elle encombre l'équipe le reste du temps. Alors elle reste assise à côté de moi.³⁹ »

³⁹ dans *Le Son Direct au Cinéma*, Sophie Chiabaut, Claudine Nougaret, FEMIS, Paris, 1997

Les Hfs et la mise en scène :

La problématique évoquée par Jean-Claude Laureux est directement liée aux possibilités que l'utilisation des systèmes Hfs apporte pour la mise en scène. En matière de décor, de cadre, de lumière et de jeu, ils permettent de capter le son direct dans des configurations nouvelles.

Dans le choix des décors tout d'abord. Comme nous l'avons vu dans le A) de cette partie, les capsules cravates Hfs permettent de capter les voix, même dans un environnement bruyant (dans certaines limites tout de même !). Or, cette possibilité est entrée dans les mœurs et les Hfs sont souvent considérés comme une solution miracle, permettant de faire du son direct dans des conditions difficiles. Le caractère silencieux d'un décor n'est donc plus toujours une condition sine qua non dans le choix fait par la mise en scène, surtout si cette mise en scène est peu attentive à la question du jeu des voix dans l'espace acoustique.

Employer des micros cravates Hfs donne aussi plus de liberté en matière de largeur de plan. Par exemple, il est totalement envisageable de faire des plans très larges, où les comédiens situés au fond du cadre seraient entendus par le spectateur, sans avoir à post-synchroniser le dialogue. Et ce contrepoint du son et de l'image peut-être un élément dramaturgique intéressant. Bien entendu, ce choix doit être réfléchi au risque sinon d'être totalement dénué de sens.

Les systèmes Hfs enlèvent aussi au chef opérateur son certaines contraintes dans le suivi des mouvement de caméra. Que ce soit en utilisant des capsules cravates Hfs ou une perche en Hf, là où il y a 20 ans un travelling compliqué induisait obligatoirement une post-synchronisation, le son direct peut maintenant être capté :

« La différence que je perçois aujourd'hui, quand je revois des films sur lesquels j'ai travaillé il y a une vingtaine d'années, c'est plutôt le rapport du son au travail de la caméra. Maintenant, la caméra bouge davantage, elle s'est libérée grâce à des outils comme le Steadycam. Le son doit suivre, ce qu'il peut faire... mais ne pouvait autrefois.

On filmaient davantage en champ-contrechamp, ce qui ne nous posait pas de problème. Aujourd'hui, on peut suivre les mouvements grâce aux outils de prise de sons comme le micro Hf. »

Pierre Gamet⁴⁰

⁴⁰ dans le dossier, *Le son aujourd'hui*, revue *Positif*, n° 589, mars 2010.

L'utilisation d'un dispositif de multi caméra est aussi une situation où le son peut être prioritairement capté grâce aux Hfs, comme nous l'avons vu dans le A) de cette partie.

Sur certains projets, la façon d'éclairer une séquence et l'emploi des Hfs ont aussi un lien, même si on préférerait que ce ne soit pas le cas. Il arrive que l'équipe lumière ne soit pas particulièrement attentive à la perche et que par désintérêt plus que malveillance, peu de dispositions soient prises pour faciliter le travail du perchman. Cette attitude, heureusement plutôt rare, est souvent justifiée par la phrase : « Mais vous avez les Hfs, non ? ». D'une manière générale, comme pour la pose des capsules cravates, l'attitude de l'équipe de tournage vis à vis du son va dépendre de celle du réalisateur. Le réalisateur c'est « Dieu, le Père⁴¹ » et s'il est attentif au son direct, le reste de l'équipe de tournage, puis de post-production le sera.

Enfin, les capsules cravates Hfs se révèlent un outil intéressant pour le jeu. Comme le dit Guillaume Sciamia :

« Ma mission principale c'est de préserver la performance du comédien et les Hfs sont un outil qui permet de réaliser ça ».

En effet, nous l'avons déjà dit, le jeu des comédiens a évolué, il va souvent vers plus de réalisme grâce à l'amélioration de la sensibilité du dispositif sonore mais aussi parce que :

« Les contraintes techniques sont moins grandes, nous utilisons des micros plus sensibles nous limitons moins les acteurs dans leur façon de jouer... Cela fait partie de l'intérêt du micro Hf.⁴² »

Eric Devulder

Comme pour les caméras et le steadycam, l'évolution des outils techniques du son vers plus de légèreté (apparente en tout cas) laisse plus de liberté au jeu. Un film, comme une comédie par exemple, où le jeu sera énormément basé sur l'improvisation, va pouvoir être capté en son direct plus facilement aujourd'hui qu'il y a 20 ans.

Nouvelles relations sur le plateau :

La généralisation des Hfs sur les plateaux a permis de voir s'établir de nouvelles relations entre l'équipe son et les équipes des costumes, de l'habillage, de la coiffure et de la déco. En amont du tournage, le choix des costumes va influencer sur le travail du son. Pourtant, le chef opérateur est rarement convié à leur sélection et même s'il l'est, ses demandes sont

⁴¹ Guillaume Sciamia dans *Le son direct au Cinéma*.

⁴² dans *Le Son Direct au Cinéma*, Sophie Chiabaut, Claudine Nougaret, FEMIS, Paris, 1997

encore plus rarement prises en compte. Il existe évidemment des exceptions, comme pour un film d'époque par exemple, où une vraie collaboration entre son et costumes est mise en place dès la préparation.

Sur le plateau, la pose des capsules cravates est indissociable d'une bonne entente avec l'équipe d'habillage. Celui qui pose les micros doit respecter le travail de l'habilleuse ou de l'habilleur, en faisant attention à ne pas abîmer les costumes. En contrepartie, la collaboration de l'habilleuse pour faire une retouche (ajout d'une poche par exemple) sur une tenue difficile ou pour placer l'émetteur sur un(e) comédien(ne) réticent(e) est une aide précieuse.

« Certaines habilleuses mériteraient de partager les "Césars" avec le son »

Philippe Vandendriessche.

De même, lorsqu'il y a possibilité de cacher les capsules dans une coiffure, un partenariat avec les coiffeurs et les coiffeuses est nécessaire.

Enfin, lorsqu'il s'agit de dissimuler un ou plusieurs Hfs dans le décor, une complicité avec l'accessoiriste et l'équipe déco est un plus indéniable.

Constitution adéquate de l'équipe son :

Par rapport à il y a une vingtaine d'années, le matériel son a augmenté en volume, les tâches de l'équipe son se sont diversifiées et pourtant une équipe son de plateau est toujours constituée de deux personnes. La grande majorité des professionnels que j'ai pu interroger pensent que l'emploi d'un second assistant devrait être plus courant dès que le projet implique beaucoup de comédiens, plusieurs caméras ou encore un rythme de tournage soutenu. Selon eux, ce type de demande est peu accepté par les productions. Et souvent, elle est satisfaite dans le cas d'un stagiaire, peu ou pas rémunéré. Mais avoir un stagiaire implique de devoir prendre du temps pour le former, et parfois il se révèle peu intéressé ou peu compétent. Nombreux sont ceux qui m'ont fait remarquer que le statut de second assistant son rémunéré était quasi-inexistant du monde du cinéma français et belge. Un seul chef opérateur m'a précisé qu'il imposait toujours une équipe de trois personnes et qu'il se voyait parfois refuser des projets pour cette raison. Les jeunes assistant(e)s aspirant à évoluer déplorent cet état de fait qui leur ferme la possibilité d'apprendre le métier sous la direction d'un pair plus expérimenté, tout en pouvant vivre de cet apprentissage.

E. Enregistrement des Hfs et lien avec la post-production

Nous allons maintenant évoquer l'enregistrement des Hfs et les conséquences qu'il a sur la suite de la chaîne.

Nous l'avons évoqué dans le A) et tout au long du B) de cette Partie, le développement des enregistreurs multipistes et des capsules cravates Hfs donne la possibilité pour le chef opérateur son de livrer à la fin du tournage une matière sonore riche et diversifiée. La nature de cette matière et la manière dont elle est enregistrée ont des conséquences directes sur le travail qui va suivre une fois le tournage fini. Il est vital d'avoir un dialogue avec un des acteurs de la post-production que ce soit le monteur ou la monteuse son, le mixeur ou la mixeuse, pour les informer de l'organisation des pistes qu'ils vont recevoir.

Techniques d'enregistrement :

Un enregistrement multipiste suppose d'avoir à la fois des micros seuls ou des groupes de sources sur des pistes séparées, on les nomme les « éclatés » (pistes 1 à 6 sur le Cantar par exemple) et un « mixdown », mélange de toutes les sources sur deux autres pistes (7 et 8). Le bipiste du mixdown sépare toujours la ou les perche(s) des capsules cravates Hfs et autres micros d'appoint, sauf dans une situation où le preneur de son ne disposerait pas d'assez de pistes. En documentaire ou en reportage par exemple, il arrive souvent qu'il faille envoyer une piste mono contenant toutes les sources sur la caméra et les preneurs de son ne disposent pas toujours d'enregistreurs « assez » multipistes.

Il existe actuellement deux modes d'enregistrement : le pré-fader et le post-fader (termes empruntés au travail d'enregistrement en studio). Lorsque l'on est en pré-fader, les pistes éclatées sont envoyées depuis les entrées micros directement sur les pistes d'enregistrement avec seulement un niveau d'entrée et avant le fader de modulation. Les chefs opérateurs modulent « en retour de piste » et c'est ensuite envoyé dans le mixdown. En post-production, on aura dès lors d'un côté le mixdown, qui est le reflet des choix de modulation du preneur de son, et de l'autre tous les éclatés sans modulation. Avec la technique du post-fader, le chef-opérateur son module les envois vers les pistes et en fait une sommation pour le mixdown. Conséquence en post-production : toute la matière livrée porte la « patte » de la modulation du chef opérateur son.

Dans un cas, il sera complètement possible de revenir sur les choix de modulation des Hfs (et des autres micros) de l'ingénieur du son et dans l'autre, ce sera beaucoup plus difficile voire impossible. Le travail du monteur ou de la monteuse des directs en sera changé, nous le

verrons dans le paragraphe suivant. Le choix de l'une ou l'autre de ces deux techniques (sur toute la durée d'un film ou selon les séquences) est le reflet de la manière dont un chef opérateur du son envisage son travail et celui du son tout au long de la chaîne. D'une part, on obtiendra un son « définitif » (qui sera tout de même un minimum modifié) et d'autre part un son « variable ». Toutes les nuances sont évidemment possibles entre ces deux extrêmes.

L'empreinte de la modulation du chef opérateur sera de toute façon inscrite dans le mixdown, qui sera utilisé tout au long du montage image, et parfois conservé jusqu'au mixage. Il est de toute façon vital que ce mixdown soit travaillé si l'on refuse que le son direct devienne un son témoin et le chef opérateur son un simple « pousse-bouton ». Le mixdown, c'est ce que le réalisateur aura dans l'oreille pendant 3 mois, c'est la carte de visite d'un preneur de son.

III. L'utilisation des Hfs en post-production

A. Évolution des métiers et du matériel de post-production sonore :

Tout comme pour les métiers de chef opérateur son et de perchman, l'apparition et le développement de nouveaux outils techniques a profondément modifié le travail du son en post-production.

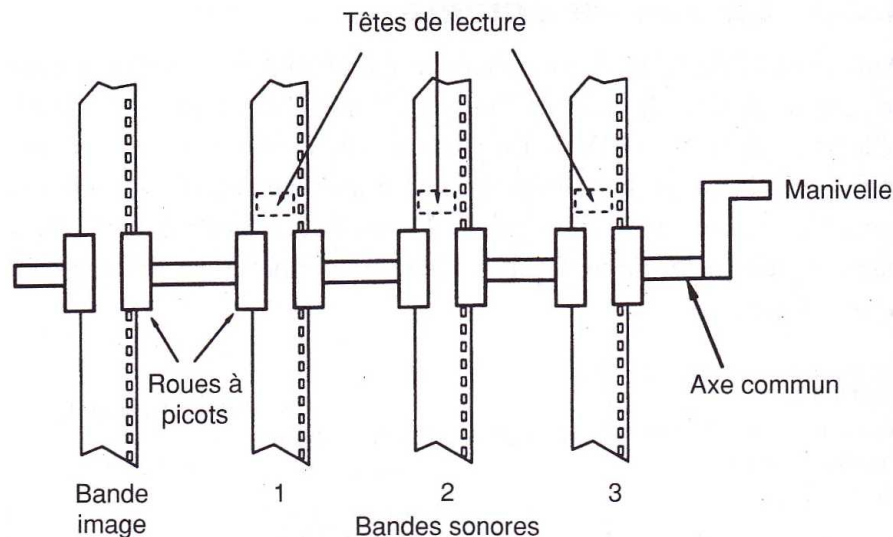
Historiquement, le montage des directs (effectué par le monteur image) et le mixage se faisaient sur des bandes magnétiques perforées, chaque bande regroupant un type de sons (par exemple, deux bandes pour les directs, une bande pour les bruitages, une pour les ambiances, une pour la musique...) et étant lue par des magnétophones pouvant aller jusqu'à 24 pistes comme le A827 de Studer. Le dispositif technique était très lourd. Une machine de 24 pistes nécessitait pas moins de 168 réglages différents pour être correctement alignée⁴³..

Comme pour l'image et la prise de son, la technologie a évolué vers plus de « légèreté », avec l'apparition, puis la généralisation du montage virtuel au cours des années 90 pour aboutir au « tout numérique » à l'entrée dans le XXI^{ème} siècle. Il a bien fallu que le matériel de post-production change puisque la matière sonore enregistrée est devenue de plus en plus dense suite à l'apparition des enregistreurs 4 pistes. Philippe Vandendriessche raconte

⁴³ d'après *Son et Enregistrement* de Francis Rumsey & Tim Mc Cormick, Eyrolles, Paris, éd 2003.

qu'en 1992 lorsqu'il a acquis le Nagra D, nombreux étaient les projets où le fait de donner 4 pistes gênait la post-production plus qu'autre chose.

Le nombre de pistes son livré à la fin d'un tournage, devenant de plus en plus important et le travail demandé plus complexe on a même vu la création d'un nouveau poste : celui de monteur son à part entière.



*Vue schématique de la disposition des bandes lors du montage
extraite de Son et Enregistrement.*

B. Le montage des directs et les Hfs :

Le montage des directs ou montage-paroles est la seconde étape de travail sur les micros cravates Hfs. Et elle est très importante car elle prépare les pistes Hfs pour le mixage et en ce sens influe sur la manière dont elles seront intégrées dans la bande sonore du film. Nous allons voir quels liens existent entre la méthode de prise de son du tournage et le travail des Hfs au montage, mais aussi de quelles manières les monteurs son exploitent ces pistes.

Pistes Hfs modulées ou non :

Nous avons déjà évoqué les deux techniques d'enregistrement multipiste, voyons leurs conséquences sur le travail des monteuses et des monteurs des directs. La première chose à noter est que tous les monteurs des directs avec lesquels j'ai pu échanger utilisent comme base de travail le mixdown et dans ce mixdown, la perche en priorité. Mais les préférences quant aux types de pistes Hfs (modulées ou non modulées) qu'ils reçoivent et aux traitements qu'ils effectuent dessus diffèrent d'un monteur à l'autre.

Lorsque les pistes Hfs sont enregistrées en pré-fader ou en tout cas peu modulées, certains monteurs son préfèrent car cela leur permet de n'utiliser les éclatés qu'en cas de besoin :

« Afin de pouvoir vraiment aller chercher plein de petites choses qu'ils pourraient contenir. S'il y a eu une erreur de modulation, ou si tout simplement, l'opérateur module très sec, alors on va perdre de la matière qui est peut-être très intéressante. Et les outils de post-production sont tellement précis aujourd'hui qu'ils permettent de faire des choses plus fines qu'au tournage »

Ingrid Simon, monteuse son.

D'autres en revanche, préfèrent travailler à partir des éclatés modulés, car ils trouvent que c'est plus intéressant et plus facile.

Si « le chef opérateur a modulé, il est plus facile de re-niveler, de remettre en phase et de nettoyer à partir de là. »

Julien Bourgon, monteur son.

Le temps imparti au montage des directs est aussi un paramètre à prendre en compte. Les outils de post-production sont plus performants certes et permettent de gérer de nombreuses pistes simultanément, mais comme me l'ont fait remarquer plusieurs opérateurs son et plusieurs monteurs, les productions n'allouent pas plus de semaines au montage son pour autant ! Le chef opérateur son doit donc faire attention à ne pas trop reporter plus loin dans la chaîne des choix de modulations, au risque qu'ils ne soient finalement pas faits du tout. Ce phénomène est surtout présent dans la production télévisuelle.

Pour tous, la généralisation des Hfs a apporté un surcroît de travail mais l'a surtout rendu plus intéressant car elle a élargi les compétences demandées au monteur son.

« Le monteur son doit avoir beaucoup plus d'écoute qu'avant et faire des choix selon le film et ce qu'il comprend de son esthétique sonore. ».

Jean-Pierre Laforce, mixeur

Les rapports de phase :

La première tâche à effectuer sur les pistes Hfs est souvent le rephasage. En effet, il y a dans quasiment toutes les prises de son des décalages de phase acoustique entre la ou les perche(s) et les Hfs. Les monteurs son et les chefs opérateurs ont des avis différents sur la nécessité ou non de cette opération et sur la manière de le faire.

« Personnellement, je pense qu'il faut toujours remettre en phase les Hfs par rapport à la perche. On récupère ainsi du bas-médium par exemple. »

Julien Bourgon

Pour Ingrid Simon, il n'est pas toujours nécessaire de tout rephaser :

« Parfois, les problèmes de phase sont très choquants, mais parfois, ils le sont beaucoup moins. ».

Quant à Frédéric Dubois, il souligne :

« Je n'enlève pas la phase, enfin, je ne remets pas en phase réellement, c'est plutôt un travail de suppression des effets indésirables: le chorus et le flanging. ».

En ce qui concerne les preneurs de son, trois attitudes se dégagent en cas de problème de rapport de phase. Ceux qui préfèrent le régler au tournage, soit à l'aide d'un inverseur de phase, soit avec l'introduction de délais entre les pistes. Ceux qui laissent à la post-production le soin de recalibrer les pistes car les outils permettront un travail plus fin. Et enfin, ceux qui choisissent l'une ou l'autre de ces solutions selon les cas.

Nettoyage des pistes Hfs, bruitages de présence et continuité sonore:

Une part essentielle du travail de montage des directs est le nettoyage des directs. Pour les Hfs, le degré de ce nettoyage va dépendre à la fois de la qualité du placement des capsules, de la modulation (s'il y en a) et de l'esthétique sonore recherchée pour le film. En effet, par leur positionnement très proche du corps du comédien, les capsules cravates peuvent capter des sons infimes que la perche ne peut pas toujours : respirations, soupirs, frottements, etc... Ce potentiel des Hfs, le monteur son peut décider de l'exploiter au service du film.

Ainsi, Julien Bourgon :

« J'aime la proximité des Hfs, je trouve qu'elle permet de mettre en valeur l'interprétation du comédien. Selon les films, j'essaye de récupérer beaucoup de présences dans les Hfs: des frottements, des respirations, certains bruits de bouches... ».

Mais il y a des avis plus mitigés, comme celui de Frédéric Dubois :

« Mon degré de "cleanage" des Hfs dépend de la manière dont ils sont enregistrés. S'ils sont coupés trop près, je ne peux pas faire grand chose. Si les présences sont propres, pourquoi ne pas les laisser mais il y aura quasiment toujours un son

inoportun. Et puis, il y a tous les traitements que l'on va faire après et qui vont à chaque fois nécessiter de remonter les niveaux, donc si on laisse les présences du direct, on risque aussi de remonter les bruits de fond indésirables. Ce n'est donc pas toujours utile de conserver les présences des Hfs, ça dépend des scènes. Mais le bruitage est souvent mieux selon moi. »

Autre manière intéressante d'exploiter les Hfs : pour la continuité sonore. En effet,
« Comme ils sont fixes sur le comédien, le timbrage
sera toujours le même tout au long d'une séquence, on aura donc une concordance de
"couleurs" entre les plans. »
Julien Bourgon.

Laisser les pistes Hfs pourra permettre, en les affinant au mixage, une transition plus douce entre un plan large et un plan plus serré dans une séquence.

La post-synchro : est ce que les Hfs permettent de l'éviter ?

Nous l'avons vu, un des atouts des Hfs c'est de pouvoir garantir une bonne intelligibilité malgré des conditions sonores environnantes difficiles. C'est pourquoi il est légitime de se demander si leur utilisation fait baisser la fréquence de recours à la post-synchro dans la production cinématographique.

Depuis la fin des années 80 et l'amélioration qualitative à la fois des micros cravates Hfs et des micros perches, il est évident que l'on use moins de la post-synchro pour des raisons techniques, pensent certains. Toutefois, d'autres considèrent que l'augmentation du bruit de fond ambiant, les conditions toujours difficiles dans lesquelles se font les tournages (rythme très soutenu, peu de temps pour refaire des prises, manque d'attention pour le son) et l'amélioration des outils de post-synchronisation (précision de synchronisme au quart d'image dans les années 80, précision à l'échantillon numérique près de nos jours) font que la post synchro est toujours extrêmement utilisée en cas de problèmes techniques au tournage.

Il reste que la post-synchro sera toujours utile pour proposer une variation dans le jeu ou pour rattraper un savonnage si le recours à des doubles ne suffit pas. Mais comme le signale Ingrid Simon, « il y a une vie dans le direct qui est très dure à retrouver avec la post-synchro ».

Et c'est pourquoi on enregistre de plus en plus celle-ci avec le même dispositif microphonique qu'au tournage : perche et capsule cravate Hf.

C. Les voix Hfs dans les mixages

Une fois les pistes Hfs intégrées dans le montage son vient l'étape finale du mélange. Quelle est l'influence de l'utilisation des Hfs sur le mixage ? Comment sont-ils intégrés dans la bande son d'un film ? Y a-t-il un lien entre les Hfs et l'évolution du relief sonore des films ? Voilà les questions auxquelles nous allons tenter de répondre.

Les Hfs et surtout le multipiste ont évidemment eu une incidence sur le travail du mixeur :

« Lorsque j'ai commencé, les tournages se faisaient en bipiste et je recevais donc une piste avec les perches déjà mixées et une piste avec les émetteurs et les micros d'appoint. Mais maintenant que nous sommes en multipistes, c'est souvent 6 à 8 pistes minimum de directs à traiter en post-production. »

Franco Piscopo, mixeur, co-fondateur d'Alea Jacta.

En termes de densité de matière, le métier du mixeur a lui aussi évolué. Cependant comme le souligne Jean-Pierre Laforce :

« Ce n'est pas forcément plus compliqué de mixer 200 pistes que 80. Mais plus les choix sont retardés, plus il y a de travail au mixage ».

C'est « l'intensité » avec laquelle les Hfs ont été modulés au tournage, puis pré-mixés en montage des directs, qui vont influencer sur le volume de travail du mixeur.

Les Hfs et le mixage des voix :

Pour Gilles Benardeau, le métier de mixeur consiste à :

« travailler dans la continuité du tournage, avec le réalisateur, dans l'écriture du film. »

Le mixeur est dans une collaboration artistique avec le réalisateur, il interprète en sons une vision. Si le réalisateur a une idée précise de la manière dont les capsules cravates Hfs peuvent être mixées afin de servir son film, c'est ce qui sera fait.

« Certains réalisateurs, qui font un certain type de films, aiment le côté "intime" du Hf: proximité des voix, bruits de mouvement des acteurs... ».

Jean-Pierre Laforce, à propos d'Arnaud Desplechin entres autres.

Autre exemple, d'après Guillaume Sciama, sur *le Ruban Blanc*, Michael Hanneke voulait que le son du tournage soit le plus possible affranchi des décors sonores des lieux.

Mais tous les réalisateurs n'ont pas une idée précise des possibilités dramaturgiques des Hfs, ni du son en général d'ailleurs et tous les projets ne se prêtent pas forcément à un mixage particulier des voix. Dans ces cas-là, la ou les perche(s) reste(nt) la base de travail des mixeurs.

« Je suis malheureux si je ne peux pas utiliser la perche, car la perche ça veut dire "rondeur", acoustique et mouvement du micro en adéquation avec celui du comédien. »

Thierry Lebon, mixeur.

Cette phrase résume parfaitement l'avis des mixeurs que j'ai pu interroger. La piste perche est le centre du mix et les Hfs sont utilisés en renfort.

Ils « permettent d'aller chercher un mot, une attaque, afin de renforcer la réplique ou de pallier une erreur de perche par exemple. »

Franco Piscopo.

La question du « relief sonore » des voix

Sur cette notion de relief sonore des voix et du lien éventuel avec les Hfs, le débat est entier. Lorsque je parle de relief sonore, j'entends le rapport d'une voix à l'espace visuel fictif (le cadre) et réaliste (le personnage est dans une église) dans lequel se trouve son origine, le comédien. J'entends aussi les différences de plans sonores entre les voix d'une même séquence.

Parmi tous les avis des professionnels du son au cinéma que j'ai recueilli, il ressort qu'en 20 ans, le traitement des voix dans les bandes son a évolué vers une plus grande proximité indépendamment des largeurs de plans image. Ils sont rares de nos jours les films où le mixage joue avec les voix dans une parfaite concordance avec le cadre, ou en tout cas en joue très perceptiblement. C'est une manière de mixer issue d'un certain mouvement du cinéma, la Nouvelle vague et d'une technique de prise de son, le mono, et qui n'est plus aujourd'hui. Certains s'en réjouissent :

« Ce que j'apprécie dans le HF c'est qu'il a définitivement enterré la dictature du plan sonore de nos prédécesseurs, une notion de prise de son que j'ai toujours trouvée ridicule parce que l'oreille ne fonctionne pas ainsi, l'oreille va toujours chercher ce qu'elle a envie/besoin d'entendre. Ainsi si le dialogue est important (et il l'est dans la majeure partie des cas sauf à faire du Godard) alors il doit être traité et donc entendu non pas comme source sonore mais comme

vecteur d'un contenant sémantique, quelque soit le plan, le dialogue doit être audible, la voix parfaite. »
Guillaume Sciamà⁴⁴

D'autres le déplorent, comme Jean-paul Mugel cité précédemment (p.78) car ils trouvent que c'est rarement un choix artistique réfléchi mais beaucoup plus souvent le résultat du formatage de nos oreilles par la télévision :

« Entendre les paroles des acteurs très présentes captées par un micro Hf, est devenu une convention, c'est entré dans l'oreille de tous les metteurs en scène. Il y a une uniformisation. Comme lorsqu'on écoute le journal télévisé ou les émissions TV qui sont enregistrés avec des micros Hfs rendant le son de la voix toujours très présent et réduisant l'environnement sonore ».

Pierre Gamet⁴⁵.

Aujourd'hui la conception des bandes son a évolué ainsi.

« On a pris l'habitude de ce traitement des voix et l'écriture même des films actuels ne permet pas de faire autrement. »

Franco Piscopo

Mais si les mixages ne jouent plus sur les plans sonores tels qu'on les entendait à l'époque de la Nouvelle Vague, il y a toujours un travail qui est fait d'inscription des voix dans l'espace acoustique, grâce au remplissage de la stéréo et des arrières, autour du canal central qui les retransmet. Et ce travail de perspective sonore est fait qu'il y ait des Hfs ou non.

Là, où il peut y avoir encore débat, c'est sur la nature de ces acoustiques : doivent-elles être celles des lieux de tournage ? ou des acoustiques recrées en post-production ? Selon les uns, les acoustiques du tournage ne sont plus que très rarement jolies ou exploitables (surtout à cause de l'augmentation du niveau de l'environnement sonore) et il vaut mieux en avoir le minimum et les mélanger ensuite avec des acoustiques recrées. Pour les autres, l'acoustique d'origine des sons enregistrés peut-être un outil de narration, avec son niveau de bruit de fond et ses « accidents » éventuels, et la supprimer, c'est perdre un atout précieux.

Ces exemples d'utilisation des micros cravates Hfs et ces avis de professionnels du son sur les voix me paraissent être le reflet d'une certaine tendance d'évolution des bandes sonores des 20 dernières années dont je parlerais dans la troisième partie de ce travail.

⁴⁴ Réponse au questionnaire, *L'impact sur la prise de son plateau de l'utilisation de systèmes Hfs.*
⁴⁵ dans *Le Son Direct au Cinéma*, Sophie Chiabaut, Claudine Nougaret, FEMIS, Paris, 1997.

Conclusion

La généralisation des capsules cravates Hfs sur les plateaux de tournage s'est inscrite me semble t'il dans un mouvement global d'évolution de la technique cinématographique : l'allègement du matériel de captation audio-visuelle. J'entends allègement dans le sens où les outils techniques du cinéma sont moins statiques qu'il y a 20 ans. Et cette libération de la technique s'accompagne d'une plus grande liberté pour la mise en scène.

Cette liberté de la mise en scène n'est pas toujours bien perçue car elle s'accompagne parfois d'un certain désintérêt pour la technique : on veut qu'elle soit invisible. C'est particulièrement flagrant dans le cas du son, qui est la plupart du temps le « parent pauvre » de l'image et les Hfs en sont l'exemple parfait puisqu'il faut les dissimuler à tout prix.

Néanmoins, les Hfs sont aussi un atout pour la sauvegarde du son direct, grande tradition des cinémas français et belges ! Mais comme toute technologie, elle peut parfois dépasser ceux qui l'utilisent et avoir ses dérives.

Il est vrai que par rapport à la technique de la prise de son mono d'un Bonfanti, il y a aujourd'hui la possibilité de faire moins de choix artistiques à la prise de son. Et si ce report des choix se continue en post-production, cela conduit à une uniformisation des bandes sonores dans un « moyen terme » de construction purement illustrative.

Mais il est toujours possible de faire des choix artistiques dès la prise de son. L'utilisation des Hfs, comme celle du multipiste a un potentiel dramaturgique si on donne au preneur de son l'occasion et le temps de le faire. Les capsules cravates Hfs ont évolué vers de plus en plus de qualité de rendu, de fiabilité, de discrétion. Elles ont un potentiel à exploiter.

Cependant si c'est la notion de rentabilité qui domine un tournage, cela va avoir des conséquences sur les professionnels du son, comme de l'image. Ils risquent de n'être que des capteurs de sources ⁴⁶. Les Hfs et le multipiste deviennent alors des outils au désavantage des preneurs de son et l'on se retrouve de nouveau dans ce phénomène de report des choix.

Mais tant que les professionnels du son se refuseront à laisser ce phénomène grandir, le travail d'élaboration d'une bande sonore, s'il peut paraître moins flagrant que celui de l'image, n'en sera pas moins là, plus subtile, plus sensoriel.

Le réalisateur est le capitaine du film, mais il n'est pas toujours le capitaine du son, auquel il ne s'intéresse parfois qu'à la dernière étape de création. Du coup, il est encore plus

⁴⁶ L'expression est de Philippe Vandendriessche.

vital que chaque maillon de la chaîne du son connaisse un minimum les enjeux et les difficultés des autres et les respectent. Ainsi beaucoup plus de choses sont possibles. Les chefs opérateurs son doivent connaître le sentiment des monteurs et des mixeurs sur les Hfs et dans quelles proportions ils les utilisent, pour rendre une matière cohérente par rapport au film. Et les monteurs et mixeurs doivent savoir quels sont les défis à relever par un preneur de son, ses goûts et les difficultés auxquelles il fait face, afin d'obtenir une cohérence totale dans la création de la bande sonore d'un projet.

Ces rencontres, ces lectures et cette collecte d'avis sur les Hfs m'ont permis à la fois de réaliser quels impacts, pratiques et pragmatiques leur utilisation pouvait avoir sur les professions du son au cinéma, mais aussi et surtout en quoi les façons de les utiliser révèlent quelque chose sur les différentes visions, toujours pleines d'humilité qu'ont les techniciens du son de leur travail et du rôle du son dans un film. Ces visions sont aussi étroitement liées à celles des réalisateurs, au service desquels ils travaillent.

Partie 3 : Evolution de l'esthétique sonore des films. Quel(s) lien(s) avec les systèmes Hfs ?

Lorsque j'ai commencé ce travail, mon idée était d'interroger dans cette troisième partie le lien entre l'emploi (systématique dans mon esprit) des Hfs et l'évolution des bandes-son.

Ayant étudié les films de la Nouvelle Vague, ceux d'un certain cinéma du réel (Jean Rouch, Chris Marker) et ayant vu aussi des films moins « pensés » de la même époque j'ai eu l'impression que les œuvres plus modernes avaient gagné en intelligibilité, mais que si les bandes-son étaient plus fournies en détails, les voix étaient elles beaucoup plus uniformes en termes de timbres et de relief sonore.

Les micros perche et cravate en évolution constante vers de plus en plus de linéarité dans le rendu sonore et l'emploi de capsules fixes collées sur les comédiens m'apparaissaient comme les causes les plus évidentes de ce changement de traitement. De plus, la popularité de la télévision et son culte du gros plan sonore et visuel, ainsi que celle de la radio où les voix débarrassées des parasites de la transmission Hf sont devenues propres, m'ont aussi semblé être des pistes d'explication de ce phénomène, car ces deux médiums ont changé nos habitudes d'écoute.

Dans le but de vérifier ces théories, j'ai regardé des films « pré-Hfs » et « post-Hfs » en tentant d'en analyser les différences. J'ai lu les écrits de Michel Chion sur l'évolution historique du son au cinéma (in *Un art sonore, le Cinéma*) et ceux de Laurent Jullier (*Le son au cinéma*, ed cahiers du cinéma, Paris, 2006). Et enfin, je me suis nourrie des entretiens avec les professionnels du son que j'ai fait au cours de ce travail.

Il est nécessaire ici de préciser qu'une première limitation à laquelle je me suis heurtée, est le fait qu'il est quasiment impossible en écoutant un DVD de savoir de quelle manière la prise de son a été faite et de faire la part des choses entre les sons directs et les sons ajoutés au montage. C'est pourquoi, j'ai choisi d'une part des films pour lesquels je possédais des informations d'un ou plusieurs intervenants du son et d'autre part, des films où je m'interroge sur la bande-son dans sa globalité sans tenter de faire des suppositions sur le dispositif d'enregistrement.

Ma démarche initiale qui était de mettre en évidence l'influence des Hfs sur l'évolution des bandes-son s'est considérablement élargie durant mes recherches. Par ailleurs, il est bien sûr évident que chaque film est différent et qu'à l'intérieur de chacun différentes constructions sonores peuvent apparaître. Mais en me basant sur les opinions des professionnels interrogés et sur la lecture des deux ouvrages précédemment cités, il m'a semblé qu'il était possible de dégager certaines tendances dans l'écriture sonore des films des

20 dernières années et je vais tenter de les exposer ici en étudiant leur lien avec l'évolution de toutes les techniques du son.

I. Le statut de la voix entre le début des années 60 et la fin des années 80.

On apprend lorsque l'on étudie le cinéma, qu'à la fin des années 50, en France notamment, une jeune génération de cinéastes a sorti le cinéma des studios et a cherché à l'emmener dans la rue, au plus proche du réel. Ce phénomène a été favorisé par l'invention des caméras légères qui ont permis la captation d'images en direct et un peu plus tard pour le son par l'apparition des enregistreurs portables et l'amélioration des possibilités de synchronisation entre le son et l'image. Sous l'influence d'Antoine Bonfanti, et d'opérateurs son voulant prendre le son au plus proche du réel, l'école du son direct en décors naturels était née.

Les micros utilisés étaient relativement peu sensibles par rapport à ceux que nous utilisons aujourd'hui, la diffusion en mono avait une dynamique réduite, les cinéastes voulaient capter le réel à tout prix d'où le développement d'une esthétique sonore où l'on accepte des ambiances fortes autour des voix et des dialogues « un peu limite ⁴⁷ ». Le cinéma de Godard en est un exemple extrême. Mais sans aller jusqu'à l'écriture sonore de Godard, de nombreux cinéastes ont intégré ces « limites » de la technique à leurs films. Ils font partie d'une tendance que Laurent Jullier appelle « la perspective naturaliste ⁴⁸ ».

Cette approche a pour principe de considérer que le micro est l'oreille de l'œil qu'est la caméra. « Si la source sonore est trop loin de la caméra et du micro solidaire ⁴⁹ » alors tant pis le spectateur n'entendra pas tout du dialogue. Il me semble que les films de Maurice Pialat sont représentatifs de ce procédé. Dès la première séquence de Passe ton bac d'abord, le spectateur est plongé dans cet univers naturaliste. Les jeunes sont en plein cours de basket dans un gymnase très haut de plafond et l'acoustique de ce lieu n'est absolument pas atténuée pour faciliter la compréhension des dialogues. Beaucoup de phrases ne sont pas audibles et on peut supposer que celles qui ressortent sont les seules qui comptent.

⁴⁷ l'expression est de Jean-Louis Ughetto, dans Le son direct au cinéma.

⁴⁸ dans Le son au cinéma, Cahiers du cinéma, Paris.

⁴⁹ op. cit.

Un décor important du film est le café où les personnages se retrouvent souvent. Dans toutes les séquences dans ce lieu, l'ambiance y est très chargée, si la caméra quitte un personnage, le son le quitte aussi immédiatement, lorsqu'un comédien se tourne le son se détimbre, bref le son est intimement lié à l'image. D'ailleurs, tout au long du film, les voix s'inscrivent dans l'acoustique des pièces selon le cadre.

Mais en parallèle, une autre tendance sonore va commencer à émerger. Nous l'avons vu dans la partie précédente de ce travail, dans la deuxième moitié des années 70 et tout au long des années 80, les techniques du son changent : des micros plus sensibles, les cravates sans fils, le bi-piste, la technique de réduction de bruit Dolby se développent. Et toutes ces évolutions vont favoriser l'apparition du « réalisme psychologique⁵⁰ ». Dans cette mouvance, le spectateur n'entend pas les sons uniquement parce que leur présence est crédible par rapport à l'image, mais aussi et surtout parce qu'ils servent le propos du film, sans être obligatoirement véritablement lié au plan visuel. Cela s'applique aux voix aussi bien qu'aux bruits dans des combinaisons diverses et il me semble que c'est le mouvement dans lequel le cinéma actuel est toujours.

II. Les tendances sonores des films contemporains

A. Les voix propres et la culture d'une certaine proximité

Si l'on écoute une voix captée par un M160 et les préamplis d'un Nagra et la même voix à travers un micro Schoeps et un Cantar, la différence de « coloration » est évidente. Le timbre de la voix dans le premier cas va me paraître plus influencé par le micro que dans l'autre. De plus, la captation par le Schoeps me paraîtra plus proche de la réalité, en tout cas plus proche de ce que j'ai l'habitude d'entendre. À l'inverse, les chefs opérateurs son ayant travaillé pendant des années avec le M160 et un Nagra disent que c'est le seul micro adapté à la voix et aiment cette coloration qu'il donne.

Suivant le même phénomène, lorsque l'on fait visionner à de jeunes spectateurs, un film ou une émission de télévision datant des années 70 ou avant, ils soulignent souvent qu'ils trouvent que les voix ont un côté « nasillard » par rapport à celles qu'ils ont l'habitude d'entendre. Ce changement de coloration des voix, qui marquent des oreilles non habituées,

⁵⁰ dans *Le son au cinéma*, Cahiers du cinéma, Paris.

ne vient évidemment pas uniquement de l'évolution des micros mais de celle de l'ensemble des outils de captation, traitement et diffusion du son.

Les courbes de réponse de plus en plus plates des micros et des haut-parleurs, la disparition du bruit de fond de la bande, l'utilisation du numérique, tous ces éléments me semblent appartenir à une volonté de faire de la chaîne du son un outil de passage sans déformation due à la technique. Par ailleurs l'emploi de micros plus sensibles, plus directifs (micros à interférences par exemple) sur la perche et des capsules cravates Hfs, permet d'isoler beaucoup plus la voix de son environnement sonore. Tous ces éléments concourent à avoir des voix plus « propres », que certains trouvent du même coup uniformisées.

Il y a bien sûr toujours un travail des voix, mais là où elles étaient de toute façon empreintes d'un grain involontaire du à la technologie, il n'y a plus maintenant (grâce à la relative transparence de la chaîne du son) que le travail délicat sur le timbre.

À cette transparence du traitement des voix, s'est ajouté, beaucoup de professionnels du son le pensent et je partage leur avis, un phénomène général, plus ou moins conscient, de culture d'un niveau « moyen » de proximité des voix quelque soit le plan image. Et je pense que ce phénomène est lié à la fois à la généralisation de la prise de son aux cravates Hfs et à l'importance de la télévision.

En effet, là où avant une voix était captée uniquement par un micro perche à l'appoint d'un cadre, elle est maintenant enregistrée systématiquement à l'aide de cette même perche munie d'un micro plus sensible et plus directif et d'un micro très proche (et fixe), qui est quasiment toujours utilisé même s'il est injecté plus ou moins fort selon les mixages (mais il y a des exceptions à cela bien évidemment).

En ce qui concerne la télévision, examinons l'esthétique sonore (le mot est bien grand) de ses programmes : la voix est le son le plus important. C'est évident dans les émissions où elle est le seul son porteur de l'information à transmettre. Et où son origine, le présentateur, est l'élément visuel central, d'où une culture du gros plan visuel et sonore. Culture qui se retrouve aussi dans les téléfilms où l'on va rechercher la proximité et l'intelligibilité des voix à tout prix. En téléfilm, il y aura peu d'ambiances sonores, entre autres parce que jusqu'à très récemment, les enceintes des téléviseurs ne laissaient pas passer tous les petits détails que des haut-parleurs de salle de cinéma pouvaient diffuser. Et aussi parce que composer une bande-son riche est un luxe que la télévision ne peut pas se permettre car c'est la recherche de rentabilité qui domine. En plus de la voix et des bruits des actions des comédiens, les seuls autres éléments seront des ambiances « rumeurs » qui servent à situer les personnages dans

l'environnement. Pour les émissions comme pour les téléfilms, la prise de son au micro cravate Hf est la pratique prédominante, car elle assure à la fois la proximité, l'intelligibilité et la rentabilité.

De plus, la télévision diffuse des films et des séries doublé(e)s en plan proche quelque soit l'image et vu l'audience (des séries surtout) que cela fait, il me semble que beaucoup de spectateurs doivent avoir cette référence dans l'oreille.

Sans aller jusqu'à croire que la popularité de la TV a fait que tous les professionnels du cinéma se sont mis à vouloir faire du gros plan sonore à tout prix, il me semble qu'il est légitime de supposer qu'avoir grandi avec la télévision a influé sur les habitudes d'écoute des spectateurs, qu'ils fassent du cinéma ou qu'ils le reçoivent.

C'est un fait du cinéma actuel, les voix se sont affranchies du cadre et elles ont une « présence minimale » quelque soit le type de film. Tous les films que je vais citer dans cette partie possèdent cette caractéristique et pourtant je ne les pas choisis pour cela et ils ont tous une esthétique sonore très différente.

B. La voix toute-puissante :

De plain-pied dans le « réalisme psychologique » dont parle Laurent Jullier, plusieurs cinéastes utilisent de manière réfléchie cette possibilité d'isoler les voix de leur environnement et de les affranchir de l'image au service de la dramaturgie.

Certains le font afin de concentrer le point de vue sonore sur les dialogues. Woody Allen par exemple, est un cinéaste dont les films sont entièrement basés sur les échanges verbaux des personnages et qui a su utiliser dans ce but les Hfs de manière très intéressante. D'une part, la priorité dans un film de Woody Allen, c'est de laisser le champ aux acteurs pour développer leur talent dans la durée. Il y a donc beaucoup d'improvisation et de plans séquences dans ses films. D'autre part, New York est quasiment un personnage à part entière, les personnages déambulent souvent dans les rues de cette ville extrêmement bruyante et utiliser des Hfs permet au réalisateur de ne pas avoir à faire de la post-synchro qui irait en contradiction avec sa volonté de capter la spontanéité des comédiens. *Manhattan* (1979) en est un exemple et *Maris et femmes* (1992), tourné entièrement caméra à l'épaule en est un autre. Il y a aussi dans ses films, beaucoup de moments où les dialogues se chevauchent. La scène de dispute dans le bureau la nuit dans *Le Sortilège du scorpion de Jade* (2001) entre le

personnage joué par Woody Allen et celui d'Helen Hunt par exemple. La prise de son en multipiste et la capacité des micros directifs et des Hfs à isoler les voix permettent ce genre de construction.

Certains vont même aller jusqu'à faire de ce travail de construction des dialogues en chevauchements le cœur même de l'écriture du film. C'est ce que Michel Chion appelle « la polyphonie verbale⁵¹ », dont Robert Altman est un pionnier. Dans *MASH* (1970) et *Nashville* (datant de 1975, il a été enregistré grâce à un système d'enregistreur 8 pistes !), on ne compte plus le nombre de scènes où 3 à 4 personnages parlent en même temps. Dans ce film et dans d'autres plus récents (*Short Cuts* par exemple) Altman joue de la polyphonie à tous les niveaux : multiples personnages différents, multiples points de vue de caméra, multiples voix dans la même séquence. Dans *Nashville*, tous ces éléments soulignent l'hétérogénéité de la population et le capharnaüm de cette ville dans les années 70. Mais ce traitement met aussi en évidence le manque d'écoute des personnages les uns par rapport aux autres. Lorsque Geraldine Chaplin est emmenée dans le studio par le fils du célèbre chanteur de country, elle parle toute seule, il parle tout seul, les ingénieurs du son autour parlent entre eux, bref, personne n'écoute personne. Dans toute son œuvre, Altman jouera avec la superposition des voix des personnages, dans une indépendance totale par rapport à l'image, pour souligner le manque de communication, l'hypocrisie, et le désordre du monde moderne. Il est vrai que ce traitement très particulier laisse parfois le spectateur dans une confusion totale de qui parle, à qui et pour dire quoi. L'utilisation des Hfs est une grande constante des films d'Altman, elle lui permet aussi de tourner en longs plans séquences, comme celui de la séquence d'ouverture de *The Player* (1992) qui nous fait entrer dans le monde « merveilleux » d'Hollywood.

Il me semble qu'Altman est représentatif de ce qu'on appelle le « film-chorale », genre basé par définition sur les voix, et dans lequel leur affranchissement du plan image est criant. En France, ce genre de film est très répandu. *Embrassez qui vous voudrez* de Michel Blanc (2002), Cédric Klapisch avec *Paris* (2008), *La bûche* de Danièle Thompson (1999), etc, etc...

Sans faire un film choral, il y a aussi quantité de réalisateurs qui sont très sensibles aux voix et qui ont un goût pour leur proximité. Grâce à un jeu sur leur niveau, mais aussi sur leur timbre, ils donnent aux voix une présence, qui n'est pas naturelle certes, mais qui les inclus

⁵¹ dans *Un art sonore, le cinéma*, Cahiers du Cinéma, Paris.

dans un « pseudo-réalisme » qui sert le propos du film. Qu'ils aient commencé dans les années 80 ou plus récemment, il semble qu'il y ait une volonté de rupture avec le côté très théâtral de la diction de certains films classiques, sans aller jusqu'à la matière sonore très brute du cinéma du réel des années 60 (nous l'avons déjà évoqué dans la deuxième partie de ce travail). Je pense par exemple aux films de Patrice Chéreau, où les voix sont toujours très belles. Ainsi, dans *La Reine Margot* (1994), la première scène de tête à tête entre Margot et Navarre, a un côté très intime par la rondeur des voix et par l'habillage léger de bruits de présences. Et bien qu'il y ait un niveau « moyen » dans les voix, l'acoustique de la pièce joue vraiment.

Cette beauté et cette proximité des voix sont des éléments dramaturgiques à part entière dans cette écriture cinématographique. Je pense aussi à des cinéastes comme Alain Resnais, Jean-Paul Rappeneau, Patrice Leconte, Jean Becker, Alain Corneau ou encore Jacques Doillon. Ainsi Frédéric Fichet (monteur son) dit à propos de ce dernier, avec lequel il a travaillé en 2008 sur *Le premier venu* :

« Pour lui, le son c'est la musicalité de la voix. Et ça s'arrête là. Et tout élément off viendrait déranger cette musicalité⁵² ».

Et il me semble que la démarche de captation des voix pour ce type de traitement, est celle décrite par Guillaume Sciama et qui consiste à « trouver le moyen terme entre le plan sonore tel qu'il existe vraiment dans la réalité et les impératifs du cinéma⁵³ ».

Avec un travail souvent moins poussé sur la beauté des voix, il me semble par ailleurs que pour beaucoup de films qui sortent sur les écrans en France chaque année, l'écriture sonore est basée sur les dialogues et donc sur le jeu des comédiens exclusivement.

Ce qui implique plusieurs choses au tournage et en post-production : rendre la technique la plus légère possible afin de laisser le jeu des comédiens se développer, concentrer l'essentiel de la prise de son sur les voix. En montage et en mixage renforcer l'impact d'une réplique grâce aux Hfs, donner du corps aux comédiens par les bruits de présences, ne pas jouer particulièrement avec les ambiances... Il me semble que sur ce type de tournage si les dialogues sont très écrits, la ou les perche(s) peuvent assurer l'ensemble du travail mais qu'en cas d'improvisation, les Hfs sont un outil très précieux. La comédie étant LE genre par excellence pour ce type de configuration. Julien Bourgon (monteur son) me disait qu'il venait d'achever le montage de *La Vérité, si je mens 3*, et que les Hfs allaient être

⁵² dans *Le Son direct en montage, mémoire de fin d'études d'Elise Pascal, INSAS, 2010*

⁵³ dans *Le Son Direct au Cinéma, Sophie Chiabaut, Claudine Nougaret, FEMIS, Paris, 1997*

énormément utilisés sur ce film car beaucoup de séquences ont été tournées en improvisation et dans ces cas-là la perche donne souvent plus de l'air aux Hfs qu'elle ne suit précisément les comédiens.

Dans une grande majorité des réalisations françaises, l'essentiel du travail du son se fait sur les voix, car elles sont le premier vecteur de la performance du comédien et que le film est basé sur cette performance. Et parfois, ce phénomène s'accompagne malheureusement d'une construction purement illustrative des autres sons.

C. Les détails sonores et l'utilisation de la dynamique :

En dehors des voix, les autres sons ont eux aussi pris une autre place depuis la fin des années 80. La plus grande dynamique, la bande-passante plus large des systèmes de diffusion, l'apparition progressive du multicanal dans les années 90, le développement du montage virtuel et subséquemment d'outils de calage des sons plus fins et plus faciles à utiliser, vont permettre de disséminer pleins de détails sonores dans les bandes son et leur donner une densité par la superposition de couches.

Exploiter la dynamique et le multicanal :

De multiples utilisations des sons à la fois dans l'espace vertical (du moins fort au plus fort) et dans l'espace horizontal (gauche, droite, centre, arrières et côtés) sont possibles et se développent. Ce phénomène est surtout évident dans le cas des films d'action et des films catastrophes qui exploitent au maximum le multicanal et la dynamique des sons. Un film comme *Volcano* (1997), par exemple, joue sur le surround à l'extrême pour faire ressentir le tremblement de terre au spectateur comme s'il y était. Dans *Matrix* (1999) des frères Wachowski, les balles des armes semblent rebondir tout autour du spectateur ! Et ce ne sont que des gouttes d'eau dans l'océan des « blockbusters » américains, passés maîtres dans l'art du son à grande sensation.

En France, ce type de traitements sonores existent aussi, un film comme *Les Insoumis* (2007) de Claude Michel-Rome en montre quelques exemples. Dans la scène de bataille finale, les couches sonores caractérisant les armes vont de la plus ténue (« pfiiuuu » du trajet des balles) à la plus puissante (explosion du mur). Entre les deux, il y a d'innombrables sons : détonations diverses et variées, ricochets et impacts des balles, giclements de sang, gravats,

coups et chocs en tout genre... De plus, chacun de ses sons sont spatialisés et l'ensemble tend à immerger le spectateur dans le commissariat attaqué. Ce phénomène d'englobement du spectateur par le son est caractéristique d'un certain type de films modernes et n'aurait pas été possible il y a 40 ans.

Le son provocateur de sensations :

Dans d'autres genres du cinéma, les détails sonores sont foison et participent totalement à la dramaturgie du film : les films d'horreur et les films fantastiques ou de science-fiction. Dans ces deux types de films, on utilise la mise en avant de sons, non reliés à l'image, pour provoquer chez le spectateur, dégoût, peur, angoisse. C'est certes fait avec plus ou moins de subtilité selon les projets.

Toutes les grosses productions « gore » américaines, comme la série des *Scream* par exemple, usent et abusent de l'amplification des grincements de portes, des marches d'escaliers, du carillon de l'entrée qui sonne à l'infini (chose impossible avant le Dolby car les aigus ne passaient pas) et évidemment des sons de la chair qui se déchire. Le passage hors-champ du tueur est accompagné d'un « pffuit » qui passe d'un côté à l'autre de salle. Le multicanal est utilisé afin d'immerger totalement les spectateurs dans le monde effrayant de l'héroïne pourchassée et la dynamique pour le faire passer d'un calme angoissant à un sursaut de surprise et de peur.

Dans un autre style, les films de science-fiction mettant en scène des extraterrestres de tous genres, utilisent une prolifération de sons pour caractériser les monstres, pour inspirer le dégoût au spectateur et pour souligner l'angoisse de l'humain devenu proie. Un premier film du genre est *Predator* (1987) de John Mac Tiernan. La créature quasiment invisible est caractérisée par des espèces de petits cliquètements métalliques et les sons des feuilles de la jungle sous les pas des soldats font le même effet que les marches qui grincent dans *Scream*. 17 ans après, le dernier film de la série Alien, *Alien, la résurrection* de Jean-Pierre Jeunet, utilise les mêmes ficelles. Les aliens sont repoussants par le caractère « gluant » qu'ils ont aussi bien à l'image qu'au son. La résonance des pas de Ripley sur les passerelles en métal dans un silence quasi total à l'exception des grincements du vaisseau provoquent angoisse et stress chez le spectateur.

La sensualité par le son :

En parallèle et dans un tout autre style de cinéma, les bruits de présence prennent de plus en plus d'ampleur. C'est ce que Michel Chion appelle la « prolifération du sensuel et du sensoriel⁵⁴ ». Le développement de l'enregistrement multipiste et l'augmentation du nombre de micros s'inscrivent évidemment dans ce mouvement car ils permettent aux chefs opérateurs son de capter toutes les sources qui leur paraissent intéressantes pour le film et de les enregistrer séparément (nous l'avons déjà évoqué dans la deuxième partie de ce travail).

Depuis que la technique le permet, mettre en valeur la sensualité d'une scène par le son se retrouve dans beaucoup d'œuvres. Combien de scènes d'amour où les effleurements de mains sur la peau, sur les draps, les respirations, sont bruitées ? Quasiment dans tous les films ! Dans certains, la bande-son toute entière est sensuelle, et pas seulement grâce aux sons des corps. Je pense par exemple à *La Main* (2003), court-métrage de Wong Kar-Wai qui raconte l'histoire de l'initiation sensuelle d'un jeune apprenti tailleur par une courtisane. Chaque son est tenu, a un timbre doux, sensuel, y compris les ambiances extérieures. Évidemment c'est un cas particulièrement parlant, parce que le film fait partie d'un ensemble de courts-métrages de trois réalisateurs, autour du thème de l'érotisme. Mais on retrouve aussi ce traitement sensuel des sons dans les longs-métrages de Wong Kar-Wai, *In the Mood for love* et *2046* notamment.

Un autre réalisateur utilise beaucoup la mise en avant de petits sons pour donner un caractère sensuel à une scène, ou pour souligner l'étrangeté d'une autre : David Lynch. La bande-son de *Mulholland Drive* (2001), œuvre à la fois très inquiétante et très sensuelle, regorge de petits détails sonores, qui se détachent sur fond d'une basse continue, dont les variations font aussi office de musique.

Le cinéma intimiste :

Lorsque se rencontre la proximité des voix et la possibilité du détail, l'écriture sonore du cinéma intimiste est possible.

En effet, si les voix sont plus proches, malgré un plan image large et qu'il n'y a aucun bruitage de présence, alors elles ne seront plus reliées à rien, elles risquent de prendre une espèce de statut extra-diégétique ou hors du plan du film, ce qui peut-être un effet recherché mais qui sinon va être plutôt gênant. Dans la hiérarchisation d'une bande-son, une voix en

⁵⁴ dans *Un art sonore, le cinéma*, Cahiers du Cinéma, Paris.

gros plan sonore implique donc un certain niveau des bruits de sa source. Et ce phénomène est exploité dans la composition sonore du cinéma intimiste.

Le film, *Le Hérisson*, de Mona Achache (2009) me paraît très significatif de ce point de vue là. Œuvre adaptée d'un roman sous forme d'écrits intimes de deux personnages, une petite fille et une concierge, la réalisatrice a retranscrit cette intimité du livre par une grande intimité sonore avec les personnages. Lors que la concierge fait son petit rituel du matin, la caméra est très statique (la taille de la loge l'explique en partie) et en plan moyen, tandis que la bande-son foisonne de tous les bruits de frottement du personnage. Dans d'autres séquences, ce seront les petits bruits du moindre objet touché par les personnages (les lunettes de la petite fille par exemple) qui habilleront la bande-son à côté des voix. Le spectateur est véritablement plongé dans la vie des personnages.

Jean-Pierre Laforce me citait aussi les films d'Arnaud Desplechin comme représentatifs de cette mouvance (et d'une certaine utilisation artistique des cravates Hfs). Lorsque l'on regarde *Comment je me suis disputé...(ma vie sexuelle)* (1996), que ce soit dans un café ou dans sa chambre, la voix du personnage de Paul est toujours en plan proche, ses petites respirations présentes. Idem pour les autres personnages. Par ailleurs, les off visuels sont en « in sonore » systématiquement. La bande-son est clairement centrée sur les personnages comme sources sonores, accompagnant ainsi la voix-off qui nous guide à travers les méandres des réflexions de Paul, sur lui-même et sur les autres. Par ailleurs, on trouve dans ce film de Desplechin une autre tendance des bandes-son actuelles : la culture du dépouillement.

D. Le dépouillement des bandes-son :

Paradoxalement, il y a aussi dans le cinéma moderne un phénomène de dépouillement des bandes-son. La possibilité donnée par la technologie de faire plus de détails sonores va être utilisée par de nombreux cinéastes pour créer des esthétiques sonores tout en finesse ou en pureté. Le film cité précédemment d'Arnaud Desplechin en est un bon exemple, mais ce phénomène est aussi patent dans certains films de Michael Hanneke, et particulièrement *Le Ruban blanc*.

Dans ce film, les ambiances extérieures ne filtrent jamais sur les intérieurs. Par conséquent, en intérieur la bande-son est très légère. Ainsi, dans une des scènes au début du film, où un père de famille gronde deux de ses enfants, les seuls sons sont les voix, les

grincements du parquet sous les pas des personnages (tout grince beaucoup dans ce film) et quelques petits sons de gestes. De plus, même si lorsqu'il y a des plans larges et moyens, les voix s'inscrivent bien dans l'espace, elles sont souvent soutenues par des petits bruits provenant du personnage. Et dans les gros plans, ces petits bruits de bouche, de respiration sont assez présents et permettent au spectateur de ressentir l'angoisse d'un personnage (la fille du docteur seule avec son petit frère dans sa maison) ou sa toute-puissance : le père de famille dont l'autorité est telle que même lorsqu'il est hors-champ, on entend sa respiration (dans la séquence où l'un de ses fils lui demande l'autorisation de s'occuper d'un oiseau blessé). En extérieur, l'ambiance est celle de la nature environnante : oiseaux, grincements des branches d'arbre et un vent continu dont les multiples variations finissent par être angoissantes.

Cette composition minimaliste de la bande son donne une impression globale d'étrangeté, assez effrayante pour le spectateur.

Autre exemple de film avec une bande-son très dépouillée, *Séraphine*, de Martin Provost (2007).

Dans cette histoire qui se déroule durant le 1^{ère} guerre mondiale, tout est très silencieux. Les ambiances extérieures ne sont pas excessivement fournies (l'époque et le lieu du film, Senlis, l'imposent évidemment en partie) et dans les intérieurs les sons qui émergent sont ceux des personnages mais sans exagération. On n'entend pas le moindre de leur geste.

De plus, il y a une certaine volonté de caractérisation des personnages par un son. Ainsi, Séraphine qui est quelqu'un de très silencieux a des pas relativement bruyants en comparaison. Ses semelles bien particulières qui claquent sur le pavé mettent en valeur son caractère mutique.

Par ailleurs, les voix ont une espèce de « chaleur », et s'inscrivent dans les acoustiques des pièces, qui sont réellement diversifiées.

Enfin, le passage d'une séquence à une autre n'est pas adouci par une continuité du son (comme dans beaucoup de films actuels) mais se fait très « cut ».

Tous ces éléments donnent d'une part un côté intimiste au film et d'autre part une impression de réalisme.

Lorsque j'ai rencontré Philippe Vandendriessche (chef opérateur son sur ce film), il l'a évoqué en disant que cette volonté de faire un véritable son direct, réaliste, avait été une décision prise en amont du tournage avec le réalisateur et subséquemment les choix de décors, de cadre, de costumes... avaient pris en compte le son.

Pour ces deux films, *Le ruban blanc* et *Séraphine*, j'ai eu la chance de pouvoir m'entretenir avec au moins un membre de l'équipe son, ce qui m'a permis de connaître le dispositif de captation et de mixage dans le cas du film d'Hanneke.

J'ai parlé dans la deuxième partie de la volonté d'Hanneke d'isoler un maximum les voix de l'environnement sonore du plateau. Guillaume Sciamma me disait qu'afin de réaliser cela, les Hfs lui avaient été d'une grande aide. J'ai donc regardé le film en pensant que les Hfs avaient du y jouer un grand rôle. Mais Jean-Pierre Laforce, qui a mixé le film me l'a lui cité comme un cas où s'il avait beaucoup de pistes Hfs, il n'en avait utilisé que 15%. Comme je n'ai pas plus de détails sur quelles séquences ou quels plans rentrent dans ce pourcentage, il m'est impossible de mesurer l'influence exacte des Hfs sur ce film.

De même, on pourrait penser que la banse sonore épurée et intimiste de *Séraphine*, doit beaucoup à l'utilisation de Hfs. Or, il n'en est rien. D'après Philippe Vandendriessche, ils n'ont été utilisés que sur une ou deux séquences. Et l'essentiel du film a été enregistré à l'aide de deux perches, faisant chacune un plan sonore différents sur les comédiens et d'un (ou deux) couple(s) d'ambiance soit en in, soit en off.

Ces anecdotes me paraissent importantes car elles illustrent bien la difficulté d'analyser une bande sonore en essayant de reconnaître la nature des directs. Constatation que j'ai faite au cours de ce travail et qui m'a amené à me rendre compte que mon point de vue initial sur un lien évident entre les prises de son aux Hfs et l'évolution du statut des voix était bien trop restrictif. D'autre part, ces deux films sont bien la preuve que de multiples possibilités existent dans le travail du son pour obtenir un résultat « équivalent ».

Conclusion :

Les évolutions des techniques du son et de l'écriture sonore sont étroitement liées et les possibilités accrues de l'une permettent à l'autre une grande diversité. Mais s'il est possible dans une certaine limite de lier les Hfs au changement de statut des voix par rapport à l'image, il est impossible de le faire pour les autres sons, sans connaître exactement le travail qui a été fait sur la matière livrée par le preneur de son.

Il me semble que ce qui se dégage de la manière la plus évidente dans les bandes sonores des 15 dernières années, c'est le fait que les voix ne sont plus liées en priorité à un espace mais plutôt à leur origine (les comédiens). Que ce soit fait de manière consciente dans une recherche de plus d'intimité ou inconsciente par simple habitude d'écoute, en tant que spectateur on peut le percevoir facilement en regardant des films très différents.

En parallèle à cela, nous pouvons constater combien l'amélioration de la diffusion sonore a influencé la composition générale des bandes sonores, soit vers une superposition extrême de couches, soit au contraire vers une esthétique du dépouillement.

Lorsqu'il s'agit d'étudier les multiples combinaisons que ces deux phénomènes offrent il faut avoir le temps et l'esprit d'un Michel Chion. Les tendances dont j'ai parlé ici existent dans des variations à l'infini et je ne pense pas avoir les capacités de les analyser toutes.

Ce que les recherches pour cette troisième partie m'ont apporté, c'est d'avoir constaté que mon hypothèse de base sur les Hfs influençant l'esthétique sonore n'était pas juste, ou en tous cas était très restrictive. Et de m'être rendu compte que le travail du son est si subtile, si diversifié, qu'il est extrêmement difficile de faire des généralités à son sujet.

CONCLUSION GENERALE

Ce travail de mémoire fut intéressant pour moi à deux niveaux distincts.

D'une part, j'ai pu apprendre les principes d'un phénomène physique dont on utilise chaque jour les potentialités sans imaginer sa nature. Aller au coeur de la transmission par ondes électromagnétiques ne me l'a pas rendue moins miraculeuse, bien au contraire. Elle semble offrir des possibilités d'utilisation infinies, qui font paraître les applications pourtant très diverses qui existent déjà pour des balbutiements. Et tâcher de comprendre le fonctionnement d'outils si importants dans le métier auquel je me destine, fut très enrichissant.

D'autre part, partie de l'idée de m'interroger sur l'impact des micros Hfs sur la prise de son de plateau, ce travail m'a permis d'en apprendre beaucoup plus sur ce qu'est le son au cinéma, depuis sa captation jusqu'à son impact sur le spectateur lors de la diffusion. Découvrir comment de simples interrogations sur un outil peuvent révéler l'état financier, social et intellectuel d'un collectif de professions fut passionnant.

Les réponses que les opérateurs son, les monteurs et les mixeurs ont bien voulu me donner avec générosité ont enrichi considérablement ma vision des métiers du son. Travailler pour le son au cinéma, c'est travailler dans l'ombre, de l'image, des comédiens, c'est souligner tout en subtilité l'univers d'un cinéaste. C'est aussi arriver à accepter les évolutions technologiques et à ne pas se laisser dépasser par leurs possibilités. Bref, ce sont des métiers où l'humilité est un atout, la sensibilité une qualité, à l'image de ceux qui les font.

ANNEXE

Questionnaire à l'intention des chefs-opérateurs et des assistants son/perchman

Le but de ce questionnaire est de recueillir les réflexions des professionnels du son sur les changements induits par l'emploi des systèmes Hfs, dans la pratique de leur métier, tant au niveau technique, qu'au niveau humain.

Il sera bien sûr traité de manière anonyme.

La plupart des questions sont ouvertes, alors n'hésitez-pas, développez!

Questions générales :

- *Quel poste occupez-vous ?*

- *Dans quel tranche d'âge vous situez-vous ?
(supprimez les mentions inutiles)*

- 20-30 ans
- 30-40 ans
- 40-50 ans
- 50-60 ans
- + de 60 ans

- *Depuis combien d'années exercez-vous ?*

- *Dans quel(s) domaine(s) exercez-vous ?
(supprimez les mentions inutiles)*

Fictions Cinéma
Fictions Télévisuelles
Documentaires
Reportages

- *Avez-vous travaillé avant la généralisation des systèmes Hfs ?*

Considérations techniques et pratiques :

- *Si vous êtes chef-opérateur du son: est ce vous qui placez les micros- cravates? :
(supprimez les mentions inutiles)*

- Oui, toujours
- Oui, mais ce n'est pas systématique
- Non, je laisse l'assistant/perchman le faire.

*- Si vous êtes assistant/perchman: est ce vous qui placez les micros-cravates? :
(supprimez les mentions inutiles)*

- Non, presque jamais.
- Oui, de temps en temps, avec certains chefs-opérateurs.
- Oui, la plupart du temps.

- À quelles difficultés devez-vous faire face lors du placement d'un micro-cravate ?

*- Rencontrez-vous des problèmes de phase acoustique entre la(les) perche(s) et le(les) hf(s) ?
(supprimez les mentions inutiles)*

- Oui, souvent.
- Oui, rarement.
- Non.

- Si oui, le réglez-vous au tournage ou est ce fait en post-production ?

- Comment gérez-vous la balance entre les « Hfs » et la perche ? (Faites vous un filtrage des Hfs « pour » la perche ? ou mixez-vous la perche « pour » les Hfs ?)

- Faites vous un mixage en deux pistes à rendre au montage avec les Hfs d'un côté et la perche de l'autre ?

- Ou rendez-vous une ou deux piste(s) mélangeant la perche et les Hfs ?

- D'autre part, si vous en avez la possibilité, enregistrez vous chaque Hfs indépendamment ?

- Selon le plan image, mettez-vous plus ou moins de Hfs ou faites vous leurs niveaux en fonction du niveau de voix donné par le(la) comédien(ne) ?

*- Pensez-vous qu'il y ait un lien entre la généralisation des tournages en multi-caméra et la généralisation de l'emploi de Hfs ?
(l'un a-t-il amené l'autre? leur développement sont-ils conjoints?)*

- Lors d'un tournage en multi-caméra, est-ce la perche qui vous assure la continuité sonore ou plutôt les Hfs ?

- Comment assurez-vous l'enregistrement des hors-champs ? Via une perche ou via des Hfs ?

- D'une manière générale, que pensez-vous du rendu d'une voix masculine à travers un système « Micro cravate-Emetteur-Récepteur Hf » ?

- Même question pour une voix féminine ?

- Comparée à une perche en Hf, une liaison par câble vous paraît-elle d'une meilleure qualité sonore ?

- Quelles améliorations imaginez-vous, attendez-vous pour les systèmes Hfs ?

Les systèmes Hfs ont induit une augmentation du matériel de l'équipe son (plus de caisses, plus de batteries à gérer, plus de consommables, plus d'accessoires...) ainsi que la nécessité de temps supplémentaire pour poser les micros cravates, faire des tests ainsi que des réajustements éventuels.

*- Trouvez-vous que la gestion pratique des Hfs prend trop de temps au détriment de décisions artistiques et techniques que vous avez à prendre par ailleurs ?
(Gestion pratique= installation des systèmes, gestion des piles ou des batteries, approche des comédiens..)*

- Trouvez-vous que ce temps supplémentaire est pris en compte par les autres corps de métier présents sur le tournage ?

- Pensez-vous que les productions se rendent compte de ce surcroît de matériel et de temps ?

*- Pensez-vous que l'équipe son devrait comporter plus systématiquement une troisième personne sur certains types de productions ?
(supprimez les mentions inutiles)*

- Oui, les tâches seraient mieux réparties.*
- Oui, mais on peut faire sans.*
- Non, ce n'est pas nécessaire.*

- Ce type de demande est-il souvent accepté ou très peu ?

Considérations humaines et relationnelles

*- L'utilisation de « roulantes » de plus en plus chargée, vous empêche t-elle d'être au plus près de l'action du plateau ?
(supprimez les mentions inutiles)*

- Oui, la plupart du temps.
- Oui, de temps en temps.
- Non, pas particulièrement.

- Si oui, que pensez-vous de cette nouvelle place physique du chef-opérateur-son dans la dynamique relationnelle du plateau ?

- Selon vous, y a t'il eu une re-définition de la place et du rôle du perchman face aux capsules cravates Hfs ? Pourquoi ? et de quelle manière ?

- D'après vous, quels sont les enjeux de la relation des gens du son avec les comédiens (contact physique lors de l'installation du micro, côté « espion » du Hf) ?

- Généralement que pensent ces derniers des systèmes Hfs ?

- Comment se passent les relations avec les équipes des costumes et de l'habillage sur le plateau et en amont ? Les demandes de l'équipe son face à tel ou tel tissu par exemple, sont-elles prises en compte ?

- D'une manière générale, quels changements pensez-vous que les systèmes Hfs ont apportés dans la manière dont les autres corps de métier présents sur les tournages envisagent le travail du son ?

Interrogations sur les changements induits par les Hfs sur l'esthétique sonore des films:

- Selon vous, comment les Hfs ont-ils changé la perception des voix dans un film ?

- Historiquement, voyez-vous un lien entre la popularité de la Tv et l'importance grandissante des Hfs dans les mixages ?

- Et par conséquent, pensez-vous qu'aujourd'hui leur intégration dans le mixage est une question d'habitude de « proximité » des voix quel que soit le plan image ou relève t-elle d'une volonté artistique du réalisateur ?

- En conclusion, pensez-vous que les systèmes Hfs sont un progrès pour le rendu sonore des films ou qu'ils tirent le son « vers le bas » ?

Sources et Bibliographie :

Ouvrages consultés :

DUBOIS Robert, *Structure et applications des émetteurs et des récepteurs*, Lausanne: Presses Polytechniques et universitaires romandes.

GARDIOL Fred, *Traité d'électricité, tome III, Electromagnétisme*, Lausanne: Presses Polytechniques et universitaires romandes.

BORVON Gérard, *Histoire de l'électricité*, Paris: Vuibert.

RUMSEY Francis, Mc CORMICK Tim, *Son et Enregistrement*, Paris : Eyrolles.

MERCIER, Denis et Collectif, *Le livre des Techniques du son : Tomes 1&2*, Paris : Dunod.

LAURENT Gérard, MATHIOT Daniel, JEANROY Alain, *Techniques audiovisuelles et multimédias: Tome 2*, 2e édition, Paris: Dunod.

NOUGARET Claudine, CHIABAUT Sophie, *Le son direct au cinéma*, Paris: FEMIS.

JULLIER Laurent, *Le son au cinema*, Paris: Cahiers du cinema.

CHION Michel, *Un art sonore, le cinema*, Paris: Cahiers du cinema.

Presse :

Dossier *Le son aujourd'hui*, revue *Positif*, n°589, mars 2010.

Dossier *Le son : de la perche au mixage*, revue *Le technicien du film*, n° 560, novembre 2005.

RODOR L., *L'apparition des micros-émetteurs*, dans Le cinéma pratique n°64, jan-fev 1965.

Articles de l'Encyclopædia Universalis:

PIRE Bernard, *ÉLECTROMAGNÉTISME*, France: Encyclopædia Universalis.

PIRE Bernard, *Théorie des champs*, France: Encyclopædia Universalis.

DIU Bernard, *INTERACTIONS (physique), Électromagnétisme, Michael Faraday*, France: Encyclopædia Universalis

WILLIAMS Leslie Pearce, *Faraday*, France: Encyclopædia Universalis.

DONNINI Jean-Marie, QUARANTA Lucien, *ÉLECTRICITÉ Lois et applications*, France: Encyclopædia Universalis.

BALABANE Mikhael, BALIBAR Françoise, *Les ondes*, France: Encyclopædia Universalis.

KAYAS Georges, *HERTZ Heinrich Rudolph*, France: Encyclopædia Universalis.

NICOLLE Jacques, *HERTZ*, France: Encyclopædia Universalis.

POUDENSAN Louis, *Ampère*, France: Encyclopædia Universalis.

WALLSTEIN René, *Histoire des Télécommunications : Le télégraphe sans fil*, France: Encyclopædia Universalis.

DE RYCK François, *TÉLÉCOMMUNICATIONS Les transmissions radio*, France: Encyclopædia Universalis

CAZIN Michel, *OSCILLATTEURS*, France: Encyclopædia Universalis.

DUSSON Louis, *HYPERFREQUENCES*, France: Encyclopædia Universalis.

BOLOMEY Jean-Charles, *ANTENNES, technologie de*, France: Encyclopædia Universalis.

LAVOISY Olivier, *DIODE ET TRIODE*, France: Encyclopædia Universalis.

Mémoire de fin d'études :

PASCAL Elise, Le son direct en montage, INSAS, 2009-2010.

Sites internet :

www.afsi.eu

www.sennheiser.fr

www.lectrosonics.com

www.scanzone.fr

www.frequencyfinder.eu

www.audiotechnica.com