Matthieu DE LUZE
Diplôme Professionnel Son 2ème Année
2007-2008

PSYCHOACOUSTIQUE, ILLUSIONS AUDITIVES ET MULTIDIFFUSION

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

SOMMAIRE

INTRODUCTION ——— 2

I / PSYCHO ACOUSTIQUE ——— 3

1) Qu'est-ce que la psycho acoustique ? 3
2) Expliquons l'oreille 3-4
3) Récentes études sur l'audition 5

II / LES ILLUSIONS AUDITIVES ——— 6

1) Vous avez dit : « illusions » ? 7
2) Les Illusions dans le progrès de l'audio 10
A. Pour entrer dans le vif du sujet 10
B. Risset et l'avancée technologique 12
C. Diana Deutsh et l'étude sur la perception 13
D. Diverses autres illusions

III / L'HISTORIQUE DES DIVERS SYSTEMES D'ECOUTES ——— 14

1) Monophonie 14
2) Stéréophonie 14
3) La Monophonie dirigée 15
4) Qu'en est-il du cinéma ? 16

IV/ LA DIFFUSION MULTICANAL ——— 17

1) Qu'est-ce que la diffusion multicanal ? 17
2) Histoire de la multidiffusion 17

V/ HOLOPHONIE ET SONS BINAURAUX ——— 20

1) Définition 21
2) Exemples d'écoutes 22
3) Ecoute binaural 23

CONCLUSION ——— 24
SOURCES, BIBLIOGRAPHIE ——— 25

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

INTRODUCTION

La Psycho Acoustique est une science encore peu connue, en effet, excepté les travaux réalisés par le médecin Allemand Alfred Tomatis, il n'existe pas de réel centre de recherche dans le monde ni d'équipes travaillant à cette discipline.
Les Illusions Auditives quand à elles sont des phénomènes déroutants et, également peu connues.
Quant au domaine de la multidiffusion audio est pour le moins immense et loin d'être totalement exploré.

Quel rapport y a t il entre ces trois vastes sujets ?

Notre Oreille.

Au cours de cette étude, nous nous intéresserons à mettre en relation ces trois thèmes avec Comme élément commun l'oreille et plus précisément la perception auditive : l'écoute.

Dans une première partie, nous en expliquerons le fonctionnement.
Puis dans une seconde partie, nous étudierons des illusions auditives.
Dans une troisième partie, nous traiterons des différents systèmes de multidiffusion.

En conclusion, nous étudierons les résultats de ces études et nous verrons leur utilité dans le domaine des progrès des techniques de diffusion audio mais également dans la médecine et dans l'art.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

I / PSYCHOACOUSTIQUE ET FONCTIONNEMENT DE L'OREILLE

I.1) Qu'est-ce que la psycho acoustique ?

La psycho acoustique se définit comme la : « psychologie auditive ».
C'est une science qui met en relation l'acoustique, l'anatomie humaine et la « conscience » auditive.
C'est-à-dire qu'elle prend en compte l'aspect biologique, liée à la physiologie et aux mécanismes du fonctionnement de l'oreille d'une part et d'autre part, la perception subjective, les « idées reçues » de l'oreille et la mémoire auditive.

On ne peut aujourd'hui parler de psycho acoustique sans faire référence au Dr Alfred Tomatis, oto-rhino-laryngologue de formation et médecin hors pair mais également inventeur d'une méthode permettant de recouvrer ses capacités auditives suite à un incident ou une « frustration ».

Sa méthode se base sur la corrélation existant entre la voix et l'écoute.

Ainsi, Tomatis prouve que **chaque son parlé est un son entendu** ce qui implique qu'une personne ayant perdu des capacités auditives, en particulier n'entendant plus une partie du spectre audio peut récupérer son déficit en formulant ces sons par la parole.
Il a ainsi mis au point une **oreille électronique** permettant de stimuler électriquement l'appareil auditif dans le but de réhabituer l'oreille à certains sons.
Ce procédé s'avère réciproque chez des personnes montrant des difficultés à formuler des sons et nombreuses expériences ont montrés son efficacité.
Pour comprendre un peu mieux cela il faut s'intéresser à la physiologie et au fonctionnement de l'oreille.

I.2) Expliquons l'oreille

Tout d'abord l'oreille peut simplement être divisé en trois parties :

a) l'oreille externe comportant le pavillon, le conduit auditif et le tympan.
Le pavillon et le conduit auditif font office de filtres assurant la transmission optimale des fréquences fondamentales liées aux messages vocaux ou musicaux. De par sa nature flexible, la membrane du tympan se met en vibration lorsqu'il ya une variation de la pression acoustique, le tympan assure la transmission des sons de l'oreille externe vers l'oreille moyenne et interne.

b) la partie moyenne de l'oreille est constituée de la caisse du tympan à l'intérieur de laquelle se trouve de petits osselets organisé en trois parties : le marteau, l'enclume et l'étrier. Le tout est articulé par deux petits muscles reliés au marteau et à l'étrier. Le principe de ce système est l'amplification des signaux reçus pour une meilleure transmission vers l'oreille interne.
Pour Tomatis, cette masse ossiculaire représente **un enjeu primordial dans l'écoute** et, D' ailleurs, le principe même de l'oreille électronique n'est autre que la régulation de la tension exercée par ces deux muscle.

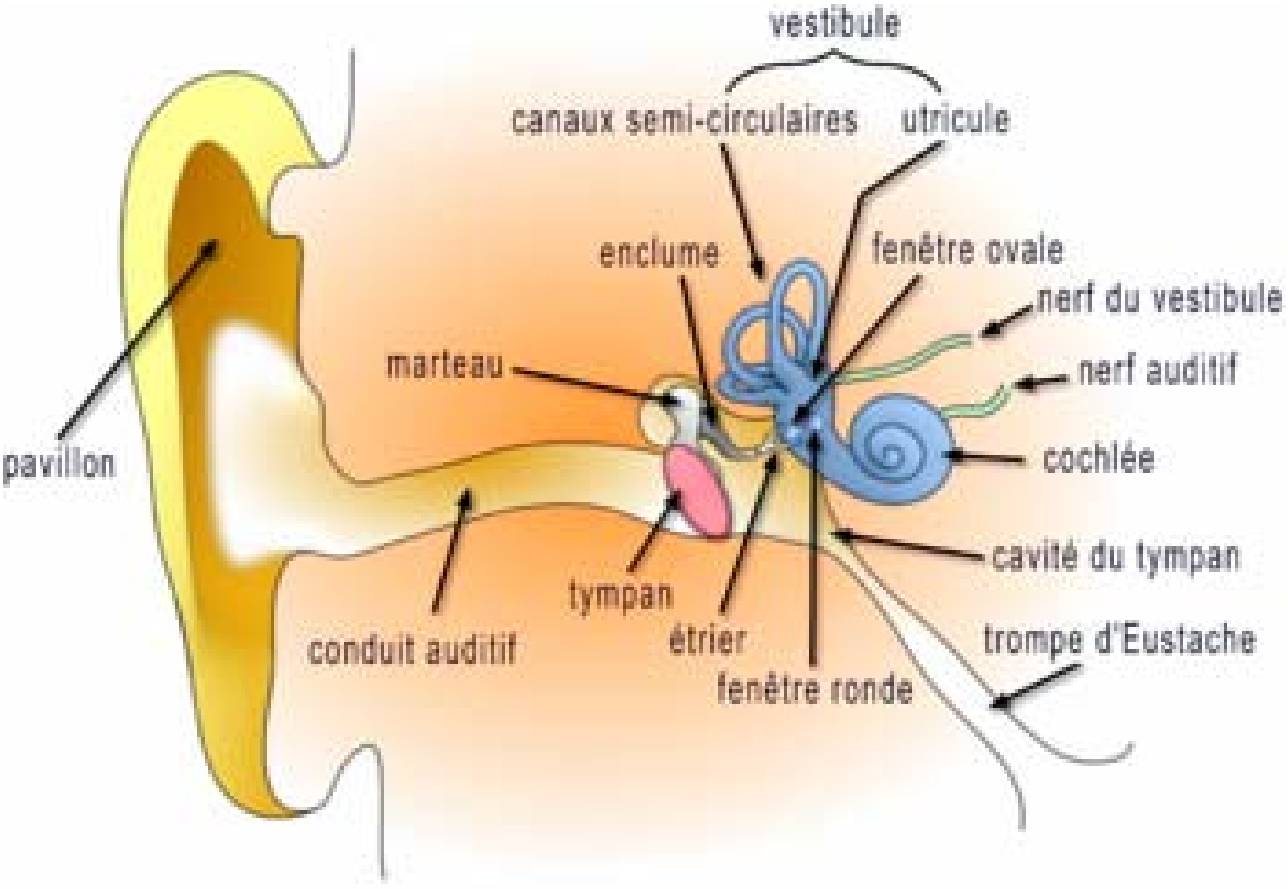
Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

En effet, une information audio peut être captée par l'oreille externe puis transmise par le tympan à l'oreille moyenne, si l'amplification n'est pas effectuée à ce stade, l'information sera ensuite mal interprétée par l'oreille interne, l'écoute en sera faussée : **le son perçu ne sera pas le son réel émis**.

c) l'oreille interne composée du vestibule et de la cochlée.

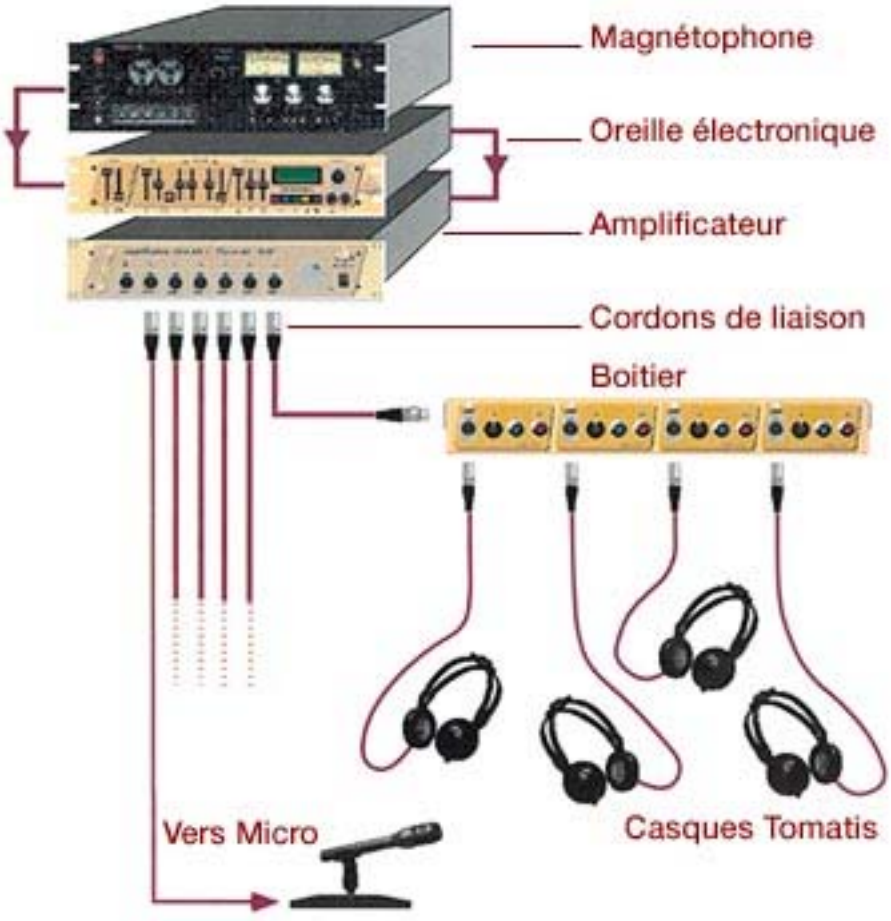
Le vestibule a pour but de veiller au bon fonctionnement de l'équilibre statique et dynamique du corps. Il joue également un rôle dans la coordination des mouvements et l'image du corps.
La cochlée contient les cellules sensorielles permettant de traduire les vibrations acoustiques en des sensations sonores. La cochlée contient un milieu liquide.
Le fonctionnement et le dialogue entre ces deux parties est fondamental car il met en jeu un vaste système nerveux et il traduit de la qualité de notre écoute.

Voici un schéma permettant de mettre en lumière ce que l'on vient d'expliquer :



Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

Le principe de l'oreille électronique mis au point par Tomatis peut être résumé par ce schéma :



Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

I.3) Récentes études sur l'audition

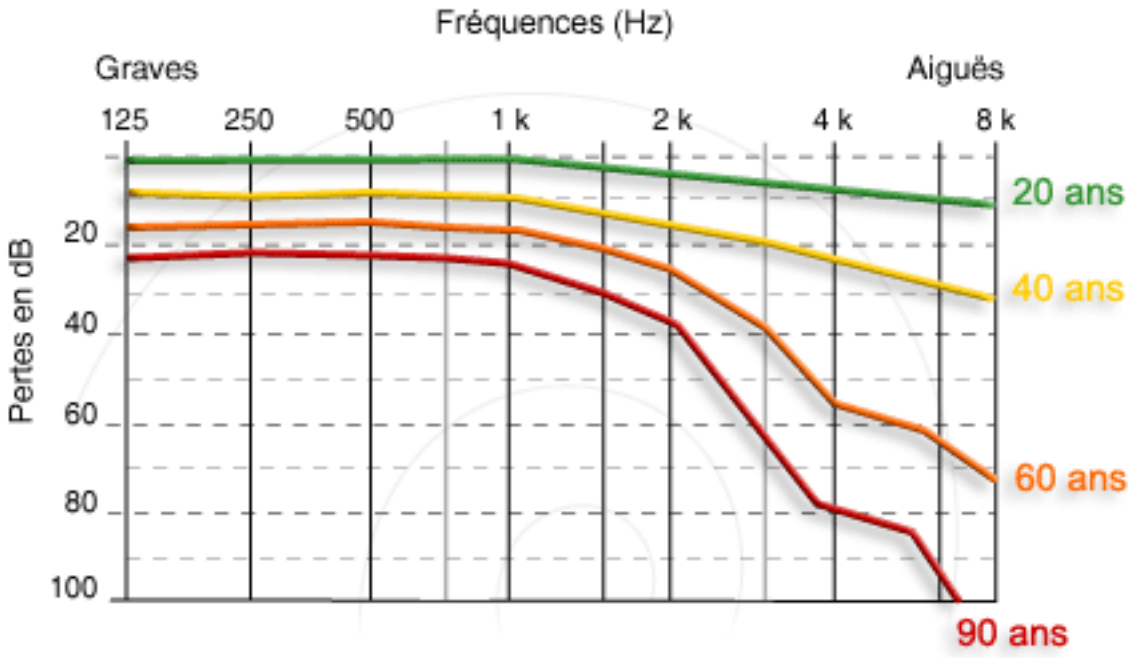
Il faut savoir que l'âge et l'exposition aux fortes pressions acoustiques sont des facteurs important dans la psycho acoustique et plus généralement dans toute forme d'étude sur l'audition.

Classiquement, l'âge entraine une perte d'audition dans les aigus.
On constate une diminution de la fréquence de coupure dans les aigus et, ce qui peut paraître étrange est que l'on observe dans certains cas également, une augmentation de la fréquence de coupure dans les graves.
Cela signifie qu'on entend moins bien les Aigus, au dessus de 10KHz et également, dans certains cas, mieux les Graves, en dessous de 200Hz !!

Dans un deuxième temps, l'exposition régulières et/ou prolongée aux fortes pressions acoustiques (au dessus de 100dB) provoque une diminution de sensibilité auditive, typiquement autour de 3-4 KHz, soit dans les aigus.

On constate ainsi une tendance, qui malheureusement tend à s'accentuer, à rencontrer des personnes âgées qui ont une bonne audition et des jeunes, souvent exposés à des niveaux sonores élevés et qui ont une audition fortement dégradée voir une surdité. Plutôt déconcertant !

Voici un schéma montrant les pertes d'audition typiques selon l'âge des sujets :



Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

II / LES ILLUSIONS AUDITIVES

II.1) Vous avez dits « illusions » ?

Les illusions auditives proviennent d'un paradoxe entre la réalité physique des stimuli de l'oreille et leur perception.
Véritables hologrammes audio, on constate par l'expérience que ces phénomènes suscitent des réactions bien différentes dans un panel de plusieurs individus.

Il existe plusieurs types d'illusions auditives et le but n'est pas ici d'en faire une liste exhaustive mais plutôt d'assimiler leur intérêts.
Ces illusions peuvent être classées selon leur utilisation, ainsi nous traiterons des illusions dans l'audio « pur » puis des illusions dans l'art et plus précisément les performances artistiques.

II.2) Les Illusions dans le progrès de l'audio

Dans ce domaine, on pourrait citer de nombreux chercheurs et chercheuses qui se sont attelés à expliquer les illusions auditives.
J'ai choisi de me concentrer sur deux études effectuées par des chercheurs : Jean-Claude Risset du CNRS et Diana Deutch de L'Université de Californie.

A. Pour entrer dans le vif du sujet

Avant tout, il serait judicieux de présenter un exemple concret d'illusion auditive.
La plus connue étant celle découverte par Roger Shepard, physicien et psychologue de la cognition. Cette illusion porte d'ailleurs le nom de gamme de Shepard.
Cette gamme est constituée par des signaux sinusoïdaux séparés par une octave.
Par exemple une note sera composée par une fréquence sinusoïdale de 440Hz à laquelle on ajoute les octaves supérieures et inférieures, concrètement les fréquences multiples aigues (880Hz, 1760 Hz) et graves (110Hz, 220Hz).
Une autre note sera composée par une sinusoïde de 311Hz à laquelle on ajoute ses multiples et ainsi de suite pour former des gammes.

Si l'on fait écouter successivement plusieurs de ces notes à un groupe d'auditeurs, on remarque que ceux-ci perçoivent quand la fréquence fondamentale descend ou monte, mais ont l'impression d'une gamme qui descend ou monte infiniment alors qu'il s'agit en fait de plusieurs notes de hauteurs variantes (plus graves ou plus aigues).
Comme le graveur et dessinateur Escher, dans son illusion d'optique représentant un escalier montant ou descendant infiniment, il s'agit bien là d'une illusion auditive.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

B.Risset et l'avancée technologique

1. Biographie

Jean-Claude Risset est un des pionniers des recherches entre musique traditionnelle c'est-à-dire jouée par des instruments et musique de synthèse, soit par ordinateur.

Dans sa formation, il étudie le piano et l'écriture au conservatoire de Paris puis devient agrégé de physique à l'âge de 23 ans.
Il participe ainsi, entre autre avec le compositeur Pierre Boulez, à la création de l'Institut de Recherche et de Coordination Acoustique/Musique (IRCAM) qui est aujourd'hui un institut de référence en matière d'études sur le son et la musique. Il devient ensuite directeur du CNRS et poursuit ses recherches sur ce que l'on appelle aujourd'hui l'informatique musicale.

2. Son Oeuvre

Jean-Claude Risset devient ainsi connu pour ses œuvres et compositions issues de la synthèse sonore.
Son œuvre la plus connue se trouve être « SUD », composée en 1984.
Cette pièce est composée par une combinaison de sons enregistrés dans le massif des Calanques à Marseille (ressac de la mer, chants des oiseaux, grillons) et de sons issues de la synthèse par ordinateur.

Risset utilise ainsi divers procédés de combinaisons comme par exemple :

- En copiant un son et en l'ajoutant décalé d'un temps très court
- En effectuant une harmonisation des fréquences contenues dans ses sons
- En traitant ces sons à l'aide de filtres bandes larges
- En récupérant les signaux traités (après les filtres par exemple) pour y ajouter des sons enregistrés

Il explique qu'en prenant un son puis en le décalant et ajoutant les deux sons, on peut obtenir des variations fréquentielles qui font croire des hauteurs différentes entre autre.

A travers SUD, Risset a étudier ainsi le mélange de sons naturel comme le ressac de la mer avec des sons synthétisés par ordinateur mais aussi leur reproduction soit la **synthèse sonore.**
On remarque ainsi que les premières formes de synthèses sonores viennent des modifications de certains sons naturels ou de synthèses.
Risset explique que l'on peut faire croire à des sons naturels ou à des variations de fréquences par **combinaisons de sons naturels et de synthèse.**
C'est en cela que Risset forme ses illusions auditives.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

3. Illusion pour votre curiosité…

Au cours de ses recherches, Risset s'est également intéréssé aux travaux de Shepard et à mis au point un procédé mettant en valeur une illusion auditive similaire à celle crée par la gamme de Shepard.
Il s'agit d'une boucle rythmique comportant des fréquences sinusoïdales et donnant l'impression d'accélérer et de ralentir continuellement alors que le nombre de battements par minutes (BPM) ne varie pas en réalité mais le surplus d'informations empêche l'auditeur de déterminer nettement le BPM.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

C.Diana Deutch et l'étude de la perception

1. Biographie

Diana Deutsh a effectué ces études sur la physiologie et la psychologie de la musique.
Cette chercheuse de l'Université de Californie à découvert un bon nombre des illusions auditives répertoriées actuellement comme par exemple l'illusion de l'octave que nous verrons plus loin.
Elle a réalisée entre autre « Musical Illusions And Paradoxes », œuvre discographique qui explique certaines des illusions auditives les plus connues.

2. Illusions découvertes et explications

L'illusion de l'octave :

Dans cette situation, on présente à un auditeur muni d'un casque un son de 800Hz qui correspond à sol 5, à son oreille droite et un son de 400Hz qui correspond à sol 4 à son oreille gauche.

On fait ensuite l'inverse c'est à dire que le son grave est à droite et le son aigu, à gauche

Puis de nouveau une autre inversion et ainsi de suite.

Chaque son dure 25O millisecondes et il n'y a pas de silence entre chaque son.

La séquence dure 1,5 seconde.

Pour la plupart, les sujets entendent le son aigu à l'oreille droite uniquement et le son grave à l'oreille gauche uniquement.
D'autre part, les deux sons paraissent successifs pour chaque séquence cela signifie qu'à chaque séquence, un son est prédominant sur l'autre et donc, qu'un seul son est perçu à chaque fois.

Il existe ainsi une illusion appelée **paradoxe des demi-gammes** qui met en jeu des sons envoyés simultanément aux deux oreilles.

Dans cette illusion, on envoi simultanément un do de la gamme ascendante à l'oreille droite et un do de la gamme descendante à l'oreille gauche.
Puis les deux gammes correspondantes, respectivement à droite la gamme de do ascendante et à gauche la gamme de do descendante.
A ceci près qu'une note sur deux est envoyée à l'autre oreille ainsi, le Ré de la gamme ascendante est envoyé à l'oreille gauche et le Ré de la gamme descendante est envoyé à l'oreille droite et ainsi de suite une note sur deux.

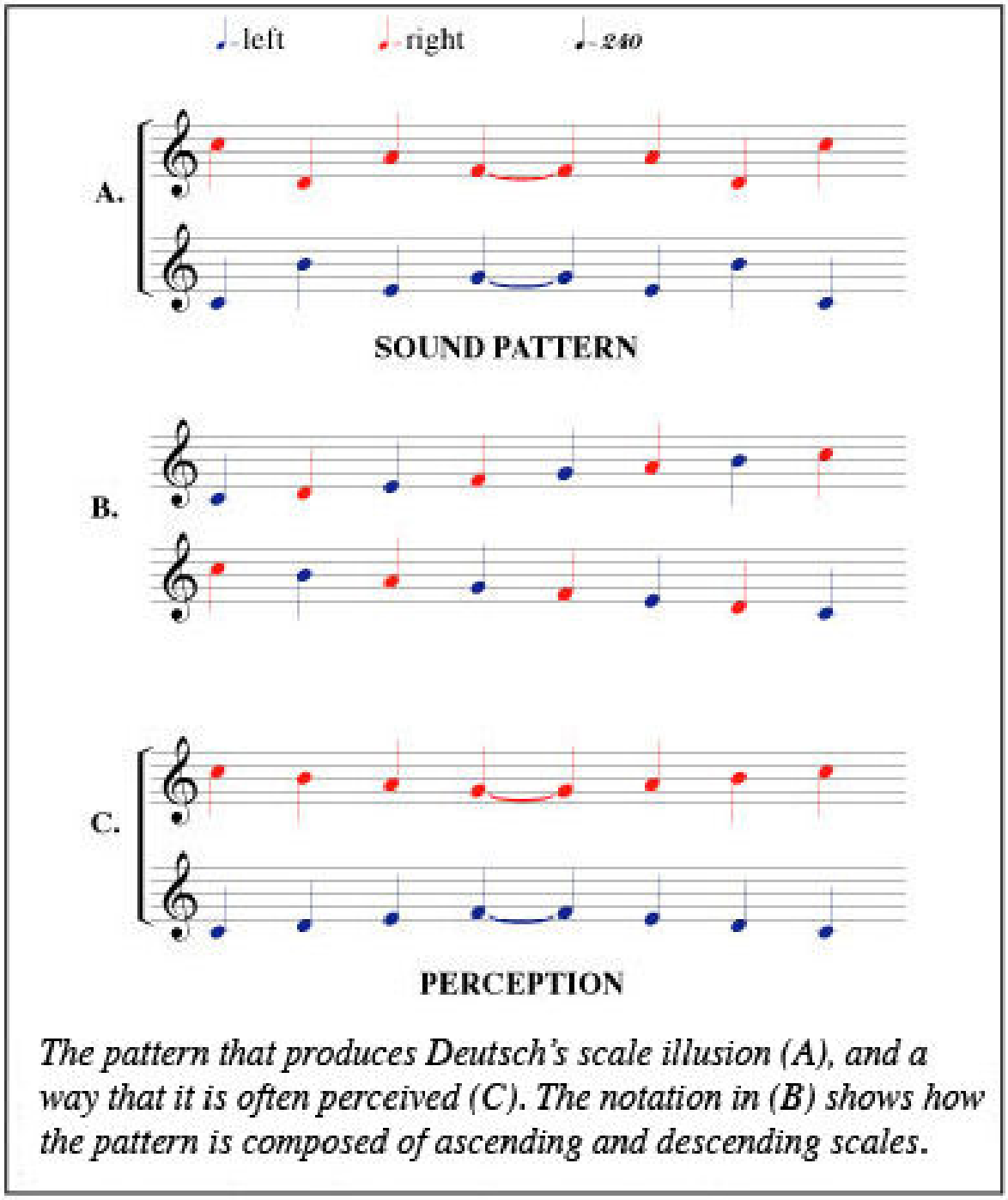
On constate alors que les auditeurs perçoivent une inversion c'est-à-dire : la gamme ascendante à gauche et la gamme descendante à droite.

Là encore cette expérience met en valeur une erreur de localisation des sons par le système nerveux.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

Une explication de ce phénomène vient du fait qu'il est fort probable qu'il existe deux mécanismes fonctionnels dans la perception :
l'un lié à la détermination de la hauteur d'un son, et l'autre à la localisation du son dans l'espace.

Voici un schéma expliquant le fonctionnement de cette illusion des demi-gammes :



The pattern that produces Deutsch's scale illusion (A), and a way that it is often perceived (C). The notation in (B) shows how the pattern is composed of ascending and descending scales.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

Ainsi Diana Deutsh explique que la discrimination de la hauteur d'un son se fait par une oreille mais le cerveau localise la provenance du son du côté où est entendu le son aigu.
Cette théorie ne convient pas pour l'explication du paradoxe des demi-gammes car dans cette situation, aucune note n'est négligée.
Pour ces deux illusions, il est probable que les mécanismes de traduction du son soient différents mais il n'existe pas à l'heure actuelle d'explication claire.
Néanmoins, ces deux expériences révèlent un fait intrigant : on constate que toutes les auditeurs droitiers possèdent une perception nettement latéralisée en cela qu'il perçoivent le son aigu à

droite.
Chez les gauchers, il existe deux groupes de nombres quasi égaux : les uns ont la même perception que les droitiers et les autres ont une perception inverse c'est-à-dire qu'ils perçoivent le son aigu à gauche.
Cela confirme l'ambivalence hémisphérique des gauchers : ils peuvent utiliser l'hémisphère droit comme l'hémisphère gauche de leur cerveau ce qui n'est pas le cas chez les droitiers.

Il serait ainsi intéressant d'effectuer un test de sorte que :

a) un droitier de la main perçoit le son aigu à droite cela signifie qu'il est droitier homogène
b) un gaucher non homogène est gaucher de la main mais perçoit le son aigu à droite
c) un gaucher de la main perçoit le son à gauche, il est gaucher homogène

Une autre illusion mise en lumière par Diana Deutsh en 1973 est le **paradoxe du triton** :

Cette illusion met en jeu des gammes de Shepard.

Qu'est-ce qu'un Triton ?

Attention, il ne s'agit pas là de l'amphibien, un triton en musique est un intervalle séparent deux notes par une demi-octave ce qui correspond à six tons ou six touches sur un piano.
Dans le paradoxe du triton, on envoi à l'auditeur un son composé par la même note répartie sur cinq octaves, ainsi, l'auditeur ne peut donner une information précise sur la hauteur de la note entendue.
Le paradoxe survient si l'on fait suivre une note composée identiquement c'est-à-dire répartie sur cinq octaves mais séparée d'un triton avec la précédente.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

D.Diverses Autres Illusions

- L'effet **MC Gurk** est une autre illusion qui met cette fois-ci en relation l'appareil phonatoire et l'écoute.
A la différence des autres illusions, celle-ci possède une dimension visuelle en plus.
L'expérience consiste simplement à regarder un sujet prononcer des mots de deux syllabes identiques en A, tel que dada, baba, puis, d'identifier ces syllabes à l'écoute des sons seuls produits par le sujet.
On constate alors un paradoxe entre ce que formule le sujet et ce que croît entendre l'auditeur.
En effet, aucun auditeur ne peut identifier la consonne utilisée (entre b, d, t et p).
Ce procédé permet de mettre en valeur l'importance de l'articulation dans la prononciation.

- Dans tout autre genre, si nous nous intéressons aux utilisations de ces illusions dans l'art, on peut citer entre autres **Thierry Fournier**.
Cet artiste a réalisé de nombreuses performances artistiques mettant en jeu des illusions auditives.
Dans ses œuvres : « Feedbackroom » et « Electric Bodyland », Thierry Fournier propose à des sujets d'utiliser leurs corps comme instrument de musique.
Il s'agit là d'installation sonore permettant de créer l'illusion que le corps du sujet produit un son, Thierry Fournier joue sur la reproduction du son par des mouvements corporel.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

III/ L'HISTORIQUE DES DIVERS SYSTEMES D'ECOUTES :

III.1) Monophonie

La monophonie correspond à la transmission d'un signal audio contenu dans un seul canal.
Cela implique que l'ensemble des informations sonores d'un support d'enregistrement audio (bande ou direct to disk) est concentré sur un canal.
Cela implique qu'aucune spatialisation 3D n'est possible.

Longtemps le seul format audio, le Mono induisait d'énormes contraintes quand à l'orientation qualitative du son d'un enregistrement.
On remarquera ainsi des bandes où un ensemble d'instrument est concentré sur un seul canal avec pour seul outil de différenciation le niveau et/ou les effets ajoutés.
Si l'on fait le test d'écouter un morceau du début des Beatles (essayez « Hey Bulldog » par exemple), sur un seul canal de notre chaîne hi-fi, on risque de n'entendre qu'une infime partie de la batterie, et par contre les solos guitares et les voix en prépondérance par exemple.
Cela peut surprendre !
En effet, les Beatles de par leurs manager …… ont été les premiers à recherchés une forme de spatialisation des signaux.
Avec le signal Mono, ils étaient forcés de dissocier des éléments comme batterie-basse qui aujourd'hui en écoute Mono Haut-Parleur sur une chaîne hi-fi donnent des résultats déconcertants.
Le Mono est aujourd'hui obsolète et a presque totalement disparu au profit de systèmes stéréophoniques.
Vers la fin des années 60 apparaissent les premiers systèmes stéréophoniques grand public marquant ainsi l'avènement d'une nouvelle ère de systèmes d'écoutes.

III.2) Stéréophonie

Historiquement l'écoute stéréophonique, soit à deux canaux, vient d'une part de contraintes économiques et domestiques sa commercialisation mais également car il s'avérait être simple à enregistrer sur les disques vinyles et à transmettre en Radio.
Le coût d'une chaîne de reproduction à deux haut-parleurs est modeste et ce système fournit une bonne image stéréo à un auditeur en position centrée.
Ce sont toutes ces caractéristiques qui en ont fait la référence qui est celle qu'amateurs comme professionnels utilisons tous en audio devant tout autre système de diffusion.

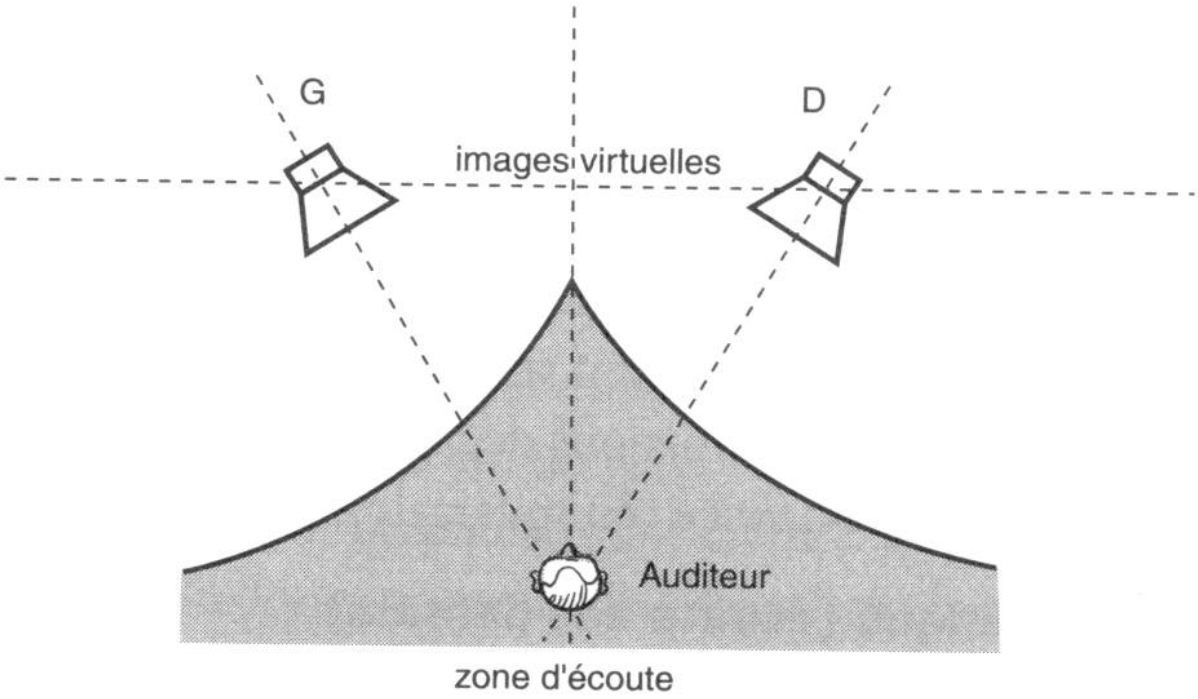
Des études réalisées sur les effets de l'utilisation de murs haut parleurs (multidiffusion) ou de système à deux canaux ont permis de mettre en avant un problème majeure dans la retransmission d'onde acoustique : les divergences de phases et les divergences temporelles.
Ces travaux réalisés historiquement au laboratoire Bell ont aboutis à la différenciation de deux catégories d'écoutes : l'écoute stéréophonique ou à deux canaux et tout autre système d'écoute en multi canal (plus de deux canaux L-R).
On a ainsi découvert ce que l'on appelle l'effet de précédence ou effet de Haas.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

III.3) La Monophonie dirigée

A. Qu'est-ce que l'effet de précédence ?

On appelle effet de précédence, la situation dans laquelle les oreilles sont stimulées ensemble par deux ou plusieurs ondes qui ont un temps d'arrivée décalé l'une par rapport à l'autre mais toujours inférieur à 50ms.
Cela implique que l'on se place dans un système à deux canaux où l'auditeur est centré face à deux haut-parleurs, le tout formant un triangle équilatéral comme le montre la figure 1 ici :



B. L'apport de cette découverte

Il faut avant tout savoir que la localisation spatiale d'un son se fait surtout dans les hautes fréquences, les aigus.
Les expériences réalisées sur l'effet de précédence démontrent qu'un décalage est ressenti, par un auditeur non expérimenté, à partir d'une différence de 18dB d'un haut parleur à l'autre.
En particulier dans les sons percussifs, on entends l'attaque du son plus tôt du côté du haut parleur qui n'est pas retardé.
Ainsi, dans une situation de deux haut parleurs placés face à un auditeur, si un haut parleur est délibérément délayé avec un retard de seulement 2milisecondes par rapport à l'autre haut parleur, il est possible de « compenser » le retard ressenti par l'auditeur en augmentant le gain, du haut parleur retardé à partir d'un gain de minimum 5dB.

Cela donnera l'impression à l'auditeur que le son est arrivé en même temps à gauche et à droite.

Dans l'étude du système d'écoute à deux canaux, l'analyse vectorielle de la perception auditive à permis de déterminer le ressenti lors d'un effet de précédence.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

En plaçant un auditeur face à deux haut parleurs qui transmettent des sons continus, l'auditeur à l'impression que le son provient de sources virtuelles situées ponctuellement entre les deux haut parleurs.

Cette découverte de Blumlein (1931) à permis de mettre en place une théorie qui consiste à dire que : pour une différence de niveaux donnée entre deux haut parleurs formants un triangle équilatéral avec l'auditeur (voir figure 1), on peut déterminer l'angle d'incidence des sources virtuelles par la formule :

$\text{Sin } \alpha = L-R / L+R \times \sin \theta d$

Avec θd = Angle sous lequel l'auditeur reçoit les infos

Et α = Angle apparent de la source virtuelle

Cela implique que $L-R / L+R = \tan \theta 1$

$\theta 1$ = Angle d'incidence de la source réelle par rapport à un couple de micros en sensibilité bidirectionnelle.

Cela s'appelle la **monophonie dirigée** .Cela permet de combiner deux signaux mono sans problèmes de phases.

III.4) QU'EN EST-IL DU CINEMA ?

Au cinéma, l'écoute à 3 canaux (L- Centre -R) est normalisée depuis la projection du film d'animation : « Fantasia » de Walt Disney.
Des études ont démontré que ce système permet aux spectateurs excentrés de situer l'action bien au centre.
C'est pourquoi, au Cinéma, on met toujours les dialogues au centre et rien qu'au centre, à l'exception des effets de **voix off** c'est-à-dire ne correspondant pas aux dialogues des comédiens à l'image.
Cela permet de bien situer l'action au centre, ainsi, l'espace est donné par les ambiances et la musique.

L'écoute aux haut parleurs implique que les oreilles reçoivent des informations sonores des deux haut parleurs alors qu'au casque, les sons perçus proviennent d'un seul canal : chaque oreille reçoit un seul canal .
Cette situation correspond le mieux à l'écoute « naturelle », relativement simple à recréer en écoute au casque comme nous le verrons par la suite mais néanmoins, difficile à reproduire dans une situation d'écoute aux hauts parleurs.
En se penchant sur ce point, les chercheurs du début du siècle ont ainsi étudié ce que l'on appelle les systèmes holophoniques, binauraux, transauraux et ambisoniques.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

Ainsi, dans une dernière partie nous étudierons les particularités de l'holophonie et des systèmes binauraux.

IV/ DIFFUSION MULTICANAL

IV.1) Qu'est-ce que la diffusion multicanal ?

On parle de multidiffusion à partir du moment où le système d'écoute dispose de plus de deux canaux, soit plus de deux haut-parleurs transmettant des signaux distincts.

Le développement des systèmes d'écoute multicanaux est lié aux besoins de retranscription toujours plus proche de l'écoute naturelle.
En effet, l'écoute stéréo à deux canaux s'avère un bon compromis mais reste approximative dans les impressions d'espace qu'apportent l'écoute naturelle.
Il existe aujourd'hui un grand nombre de systèmes d'écoute multicanaux, le but n'est pas la dans faire un rapport exhaustif mais plutôt de s'intéresser à l'apport des études sur la multidiffusion en général.

IV.2) L'histoire de la multidiffusion

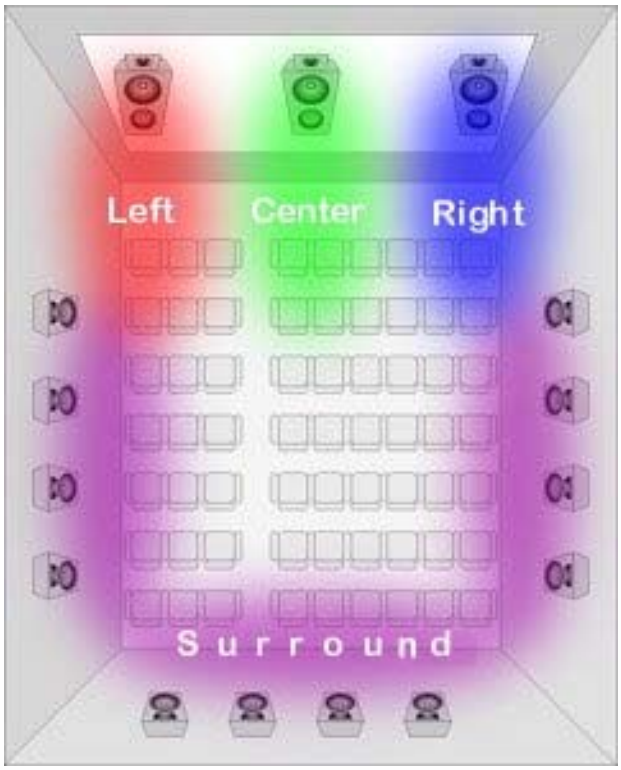
C'est à la suite d'expériences réalisé avec des systèmes d'écoutes multicanaux en laboratoire que la stéréo a vu le jour et s'est démocratisée au grand public.
Ces recherches avaient pour but de reproduire une situation d'écoute naturelle avec divers systèmes comportant plusieurs haut-parleurs.

Il a ainsi été prouvé qu'au cinéma, l'écoute stéréo s'avérait obsolète est que, dans des salles de grandes tailles, elle empêchait même les spectateurs excentrés de situer l'action au centre de l'écran.
Ainsi, il fallait pouvoir respecter la stéréo tout en y ajoutant deux canaux : un au centre et un à l'arrière qui permettrait de rendre compte des ambiances de l'action soit quatre canaux.
De ce fait, en 1965, le laboratoire Dolby a mis au point un système permettant d'une part la réduction du bruit lié aux chaines de reproduction analogique, et , d'autre part ,la reproduction du son en « surround ».
Le Dolby Stéréo.
Le procédé est issu du matriçage du signal audio.
Après plusieurs produits différents, le laboratoire Dolby met au point un réel système de multidiffusion : le Dolby Surround.
Ce système comprend ainsi 4 canaux : un gauche, un droit, un centre et un ambiance.
Les canaux centre et surround (ambiance) sont formés de la façon suivante :
Les signaux provenant du canal gauche et du canal droit en phases sont envoyés au centre
Les signaux du canal gauche et droit hors phases sont envoyés au canal d'ambiance
Et les autres signaux gardent leur position respectives : les signaux de gauche à gauche et ceux de droite à droite.

On crée ainsi une profondeur tridimensionnelle liée à la réverbération dans le canal surround du fait que les signaux en phase au centre sont ici hors phases.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

Voici un schéma d'installation Dolby Surround Pro Logic II composée de 4 canaux :



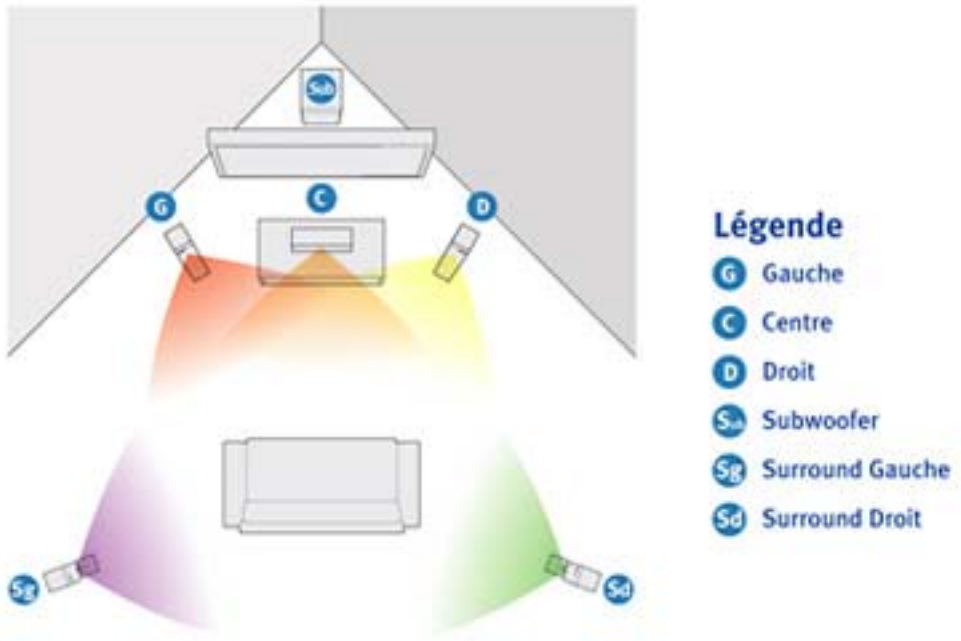
Ce système analogique est aujourd'hui largement remplacé au cinéma comme à la télévision dans nos salons par le système 5.1 comportant 6 canaux. Le fameux Home Cinéma pour le grand public.

En effet, les études réalisées sur les systèmes d'écoute multidiffusions ont prouvé leur efficacité et cela a permis entre autre l'avènement de systèmes tels que le 5.1 d'abord au Cinéma.
Le 5.1 dispose de 6 canaux en réalité et se compose de la sorte :

- un canal gauche
- un canal droit
- un canal arrière gauche (surround gauche)
- un canal arrière droit (surround droit)
- un canal centre
- un canal centre arrière (subwoofer) diffusant les basses fréquences (disposé souvent au centre dans un salon)

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

Exemple d'installation Home Cinéma 5.1 dans un salon :



Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

V/ Holophonie et Sons Binauraux

Holophonie

V.1) Définition :

L' holophonie est un système de multidiffusion ayant pour but de restituer les champs sonores contenus dans un enregistrement audio de façon cohérente dans une zone de diffusion.
Il s'agit en cela d'un système de multidiffusion qui vise à recréer l'environnement acoustique capté par nos oreilles au quotidien.
Comme le système 5.1 avant lui largement référence au cinéma aujourd'hui, ce modèle d'écoute muliticanal est pour le moment soumis à des expérimentations pour pouvoir être commercialisé et atteindre le grand public.

A l'heure actuelle, l' holophonie comme les systèmes binauraux que nous verrons par la suite, reste au stade expérimentale et sa commercialisation rencontre encore des obstacles techniques ou physiologiques.
L'holophonie n'est aujourd'hui vérifiable physiologiquement que dans une écoute au casque stéréophonique.
Quel est le principe de cette technique de diffusion ?

De nombreuses recherches initiées par l'Université de Delft puis l'IRCAM ont abouties à la création d'un modèle.
La diffusion holophonique est ainsi issue d'une prise de son dans des conditions définies et surtout d'une traduction à l'aide d'un algorithme très spécifique.
Plusieurs expériences que nous verrons par la suite ont mis en situation un mannequin aux propriétés physiques identiques à celles du corps humain, en particulier en terme d'acoustique liée à la constitution et au volume crânien.
Ce mannequin est affublé de deux micros, faisant office de conduits auditifs et permettant une prise de son cohérente par rapport à une situation d'écoute à l'oreille « nue ».
A la prise de son, les deux canaux sont traités indépendamment par un algorithme reproduisant précisément l'analyse fournie par le cerveau humain concernant le positionnement des sources sonores dans l'espace à 3D.
Ainsi l'holophonie a pour particularité de créer un espace sonore 3D mobile, en effet en écoutant ce type d'enregistrement au casque, l'auditeur a l'impression d'être acteur passif de la scène sonore qu'il entend.
Pourtant tout déplacement vertical, horizontal ou rectiligne de la tête et du corps lors de l'écoute produit la sensation que l'action sonore se désaxe de sa position initiale.
Il paraît à l'auditeur que la scène bouge en même temps que lui, ainsi en se retournant sur lui même à 180°, l'auditeur aura fait basculer une action qui se déroulait dos à lui : il l'entendra toujours derrière lui.
Voici la une particularité de cette technique qui démontre son caractère similaire avec une situation d'écoute avec nos oreilles.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

Le défaut majeur de cette technique est qu'elle ne permet pas de se déplacer sans constamment faire bouger tout l'espace de la scène sonore : en tournant la tête, c'est toute la scène qui est déplacée de X degrés suivant la rotation de la tête.
Il y a également un inconvénient qui est due à la morphologie humaine.
Chaque individu possédant une morphologie propre, le « système » permettant de situer une source sonore dans l'espace 3D contenu dans notre cerveau varie considérablement d'un individu à l'autre ce qui forcerait l'algorithme à s'adapter à chaque auditeur !

V.2) EXEMPLES

A. Chez le Coiffeur

Un Test a été pratiqué dans le but de retrouver la sensation produite lorsque l'on capte une source sonore avec nos oreilles et que le cerveau nous dit où elle se situe dans l'image stéréo.
Ce phénomène s'appelle l'holophonie.
Pour réaliser ce test, des chercheurs ont introduits 2 micros en tout point identiques à la place des oreilles dans un mannequin aux propriétés physiques et acoustiques identiques à celle d'un humain (volume et épaisseur du crâne, taille des conduits auditifs).
Il a également fallu mettre au point un algorithme permettant de traduire, avec la même précision que le cerveau, la place de la source sonore dans l'espace à trois dimensions.
L'expérience est concluante lorsqu'on l'écoute au casque uniquement.
Elle met en scène une personne chez le coiffeur.

B. Technique Wave Field Synthesis (WFS) :

Il s'agit d'un procédé de reproduction holophonique qui permet, par analogie avec des hologrammes visuels, de capter ou de synthétiser une scène sonore en préservant les informations spatiales de distance et de direction des sources qui la composent.
Cette approche initiée par l'Université de Delft, dépasse les limites des systèmes conventionnels en terme de fidélité de reproduction sur une zone d'écoute étendue.
Tandis que les techniques stéréophoniques conventionnelles comme la stéréo 5.1 s'apparentent au trompe l'œil audio et ne peuvent ainsi être appréciées que depuis le centre du dispositif (triangle équilatéral), l'holophonie au contraire a l'ambition de reconstruire un champ sonore dans lequel les auditeurs peuvent se déplacer en gardant une perception cohérente de la spatialisation dans l'espace 3D des sources sonores.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

V.3.1) ECOUTE BINAURAL

L'écoute binaurale est une situation d'écoute où les deux oreilles sont stimulées par la même onde sonore indépendamment.
Ce mode d'excitation du système auditif à été élaboré dans le but d'obtenir une reproduction sonore la plus proche possible de celle produite par l'écoute « naturelle » que nos oreilles nous donnent.
A la différence de l'holophonie, l'écoute binaurale est un système qui permet d'introduire sur des signaux, des corrections correspondants aux fonctions de transfert crées par la tête HRTF (Head Related Transfert Fonction) pour les différents angles d'incidence d'une source monophonique.
Plus précisément à l'aide d'une série de filtres numériques on recrée les retards et les mélanges qu'induisent le pavillon de l'oreille et les effets d'ombres et de masques qu'apporte le crâne sur les signaux sonores.
L'avantage de ce système est qu'il peut également permettre de simuler la position d'une source sonore dans l'espace, l'auditeur choisit le lieu virtuel où il souhaite positionner la source et il reçoit les signaux binauraux correspondant.
Cette avancée est d'un grand bénéfice quant aux techniques utilisées par les acousticiens.
Cela leur permet de créer virtuellement des situations des écoutes en positionnant différents types de sources sonores dans des lieux virtuels.

Le développement de cette technologie pour la reproduction sur haut-parleurs s'appelle la stéréophonie transaurale.
Le problème réside dans le fait que l'auditeur est contraint et forcé de se placer à une distance précise à environ 75mm et une situation d'écoute optimale c'est-à-dire sans ondes stationnaires ou réverbération gênante dans la pièce, bien loin de l'écoute stéréo pour Mr Tout Le Monde...
L'avantage majeur de ce système est qu'il permet d'améliorer la perception des sons dans l'espace 3D en « comblant » l'impression de « trou au centre » générée par une écoute stéréophonique classique, se rapprochant ainsi de l'impression rendu en écoute naturelle.

Dans cette optique, la firme Schoeps a sorti un microphone comportant des caractéristiques qui prennent en compte le rôle du crâne humain lors de l'écoute stéréophonique, il s'agit du KFM 6U.
Ce micro produit en effet une réponse en fréquence et en intensité plate pour les signaux en incidence frontale mais engendre des retards et des effets d'ombres sur les sources excentrées.
Il en ressort une sensation d'espace satisfaisante.

Il existe également des expériences portant sur différents systèmes d'écoute utilisés à des fins médicinales ou artistiques.
En particulier sur les sons binauraux.
Certains sont même utilisés dans la pratique de la méditation et à des fins curatives de « l'esprit ».

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

V.3.2) Utilisation dans la médecine

Des études sont effectuées en médecine chez les personnes anxieuses ou qui sont sujet à des troubles du sommeil.
En leur faisant écouter deux sons de deux fréquences différentes dans chaque oreille.
Exemple : 150 Hz à gauche et 100 Hz à droite.
On constate que le cerveau comble la différence (50Hz) ce qui permet de resynchroniser les ondes cérébrales.
Ce travail s'effectue en sachant au préalable la fréquence de résonance de la personne car comme toute chose, le corps humain à une fréquence de résonance à laquelle en théorie il exploserait ou atteindrait sa déformation maximale (beurk !)
Le but est de resynchroniser les ondes cérébrales.

Intéressons-nous aux électroencéphalogramme pour comprendre comment divise t-on les ondes cérébrales :

Ondes delta : de 0,5 à 4 Hz, celles du sommeil profond, sans rêve.
Ondes thêta : de 4 à 7 Hz, celles de la relaxation profonde, en plein éveil, atteinte notamment par les méditant expérimentés.
Ondes alpha : de 8 à 13 Hz, celles de la relaxation légère et de l'éveil calme.
Ondes bêta : 14 Hz et plus, celles des activités courantes. Étrangement, les ondes cérébrales passent au bêta pendant les courtes périodes de sommeil avec rêve (sommeil paradoxal), comme si les activités du rêve étaient des activités « courantes ».
Il arrive aussi qu'on parle d'ondes gamma qui se situeraient au-dessus de 30 ou 35 Hz et qui témoigneraient d'une grande activité cérébrale, comme pendant les processus créatifs ou de solutions de problèmes. (Ne pas confondre avec les rayons gamma, émis par le noyau des atomes.)

En réalité, ces expériences n'apportent pas de réelle preuve de l'efficacité de l'écoute binaurale à des fins curatives.
Cependant, il existe de nombreux softwares permettant l'écoute et la création de sons binauraux :

Sbagen est un de ces software que j'ai eu l'occasion de tester.
Ce logiciel permet de faire des expériences en proposant diverses séquences de sons binauraux avec des objectifs différents :
Relaxation, concentration, éveil…
Certains utilisateurs décrivent ces écoutes comme des doses de drogues étant donnée les effets que cela engendre et pour certains, la dépendance.
Ces écoutes sont composées pour la plupart de bruit rose ou de bruit blanc auxquels on ajoute des sons « relaxants » comme l'écoulement d'eau d'un ruisseau ou le ressac de la mer par exemple.
Cependant, c'est dans le but de l'expérimentation médicale au départ que ces sons ont été crées.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

CONCLUSION

J'ai choisi d'étudier un thème qui me paraît d'un grand intérêt vu ses incidences qualitatives sur le métier d'ingénieur du son.
En effet, l'oreille étant notre outil de travail, il me semblait judicieux de me pencher sur son fonctionnement et ses particularités.

A travers mes recherches, j'ai pu comprendre l'historique des systèmes de diffusions, approfondir mes connaissances sur le fonctionnement de l'oreille et découvrir des phénomènes parfois encore inexpliqués quant à la perception du son.

Ce projet m'a permis de constater l'intérêt de l'avancée des techniques du son, en effet tant sur le plan des métiers du son mais aussi dans des domaines divers tels que la médecine, le cinéma et l'art en général, les connaissances du son que nous possédons sont encore minces par rapport à l'étendu du sujet.

La perception du son est pourtant un phénomène qui fait l'objet de nombreuses recherches.
Il est intéressant de constater qu'elle est régie par des lois établies mais que certains paradoxes restent inexpliqués quant à l'analyse de l'écoute.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

SOURCES, BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie :

Son & Enregistrement Francis Rumsey & Tim McCormick
Edition **Eyrolles**

Sites Web:

Site Du Groupe de recherches Tomatis:

www.tomatis.com

Wikipédia:

http://fr.wikipedia.org/wiki/

Exemples d'écoutes:

You Tube:

www.youtube.com

Site de Thierry Fournier:

www.thierryfournier.net

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr