

UNIVERSITE DE TOULOUSE LE MIRAIL II
ÉCOLE SUPÉRIEURE D'AUDIOVISUEL

INFLUENCES DE L'IMAGE SUR NOS PERCEPTIONS DE L'ESPACE SONORE BINAURAL POUR LES EXPLOITATIONS NOMADES

Franck Brudieux

DIPLOME UNIVERSITAIRE DE RECHERCHE ET
CONCEPTION AUDIOVISUELLE

2013
Spécialité son

INFLUENCES DE L'IMAGE SUR NOS PERCEPTIONS DE L'ESPACE SONORE BINAURAL DANS LES
EXPLOITATIONS NOMADES

2/

« *L'esprit voit et écoute, le reste est aveugle et sourd* »

Epicharmus 450 B.C.E.
[citation de Coren & Ward (1989)]



REMERCIEMENTS

Mes remerciements vont dans un premier temps à Alexandre Beznosiuk et Robert Ruiz pour leurs apports et leurs choix pendant cette année de master. Une année que je considère avoir été fondamentale pour mon approche de la réalisation ; une année où la forte implication des intervenants professionnels nous ont donné des moments rares... ; une année où les échanges entre les autres étudiants en « son » m'ont aussi fait évoluer dans ma « vision » du « mixage sonore »... C'est aussi grâce à ces divers contacts que j'ai pu connaître Lidwine Hô, qui travaille sur le son binaural à France télévision. Elle a ainsi été d'une grande aide pour ses apports d'informations des derniers colloques sur le son « binaural ». Pour finir, merci à Bernard Lagnel, qui, grâce à ses longues discussions au téléphone, et le partage de ses expériences en matière d'enregistrement binaural, m'ont permis d'élaborer ces films tests et une méthodologie...

LA LOCALISATION DES SOURCES PAR LE TOPOPHONE...



Au début du XXe siècle, si un navire naviguait dans le brouillard, il lui était quasiment impossible de situer dans l'espace une corne venant d'un autre navire qui pouvait alors le percuter accidentellement, ou l'attaquer. C'est ainsi un ingénieur du service des phares des Etats-Unis Heap, a conçu un appareil étrange, renforçant la sensibilité de l'oreille, mais surtout lui permettant de localiser d'où venait la source sonore d'un autre bâtiment flottant. L'appareil est en fait constitué de deux récepteurs acoustiques orientés en sens opposés, que le marin utilise un peu comme un stéthoscope, avec ses deux branches reliant les pavillons à ses oreilles. Il suffisait alors d'orienter correctement les écouteurs, en pivotant la tête jusqu'à ce que le signal sonore soit parfaitement localisé.

PRESENTATION :

Ce sujet de mémoire a pris naissance lorsque j'ai souhaité obtenir un son multicanal (sur les 2 canaux disponibles en dvd) pour la réalisation de mon film de fin d'étude. Le passage par l'encodage Dolby n'étant pas envisageable techniquement, ni financièrement ; je me suis alors intéressé à une autre possibilité de spatialisation, le son binaural ! Si celui-ci, semble dans un premier temps, d'une conception et de mise en œuvre relativement simple, on s'heurte très vite à des problèmes « d'artefacts sonores » lorsque l'on veut le diffuser pour le plus grand nombre. Notamment le manque de réalisme dans la restitution sonore dans l'espace frontal. Il convient donc d'essayer de pallier ces manques qui rendent fragiles le procédé, à partir du moment où l'on veut diffuser une image en frontal. Si quelques études font part des défauts spécifiques de l'espace sonore binaural, aucune ne fait par contre, mention des influences de l'image sur cet espace sonore singulier. De plus les nouveaux moyens de diffusions nomades (tablettes, téléphones...) entraînent une modification profonde de notre posture d'écoute, ce qui oriente de manière importante notre réception « synesthésique » du son et de l'image... **Ce sont donc ces modifications apportées par l'image sur l'espace sonore binaural (avec enregistrement binaural) que je me propose d'étudier dans ce mémoire.**

La technique d'enregistrement binaurale est déjà ancienne (mannequin OSCAR 1930...), mais elle est revenue au goût du jour avec le renouveau de la 3D à l'image. Si cette technique de spatialisation a surtout été utilisée pour « ses effets » en radio et musique (Pink Floyd, M. Jackson dans les années 1980), la volonté de l'associer avec l'image est récente. Elle est concomitante avec le développement des écoutes nomades pour une nouvelle génération de « spectateurs-auditeurs », confortée par la démocratisation des tablettes à l'éducation nationale et l'arrivée de programmes et jeux spécifiques pour tablettes (webséries, jeux vidéo...). L'écoute binaurale est présentée comme la technique de spatialisation sonore la plus proche de l'écoute « naturelle ». Elle doit assurer la reproduction au niveau des oreilles d'un auditeur, de toutes les informations nécessaires pour la construction d'une image sonore extra crânienne. Contrairement aux autres systèmes de spatialisation sonore qui nécessitent parfois un nombre important de haut-parleurs, la diffusion des informations binaurales est réalisée grâce à un casque stéréophonique classique. De plus la spatialisation avec seulement deux canaux permettant de s'abstenir du système DOLBY Digital. L'écoute binaurale doit aussi permettre une localisation précise des sources sonores en trois dimensions ainsi qu'un rendu fidèle de l'environnement sonore (effet de salle). Les récents programmes en recherche et développement (programme BILI¹...) ont une orientation industrielle en vue d'adapter, via des plug-ing, les mixages multicanaux du cinéma (le mixage 5.1) à une écoute binaurale (2 canaux avec casque). En ne prenant pas suffisamment en compte le stimulus qu'est l'image, ils sous estiment la portée de celle dans le rendu même de l'espace sonore. A l'aide d'un test (films sur tablette avec enregistrement binaural), et de manière « empirique », je souhaite mieux cerner les modifications phénoménologiques des perceptions spectateurs. Cet apport de l'image dans l'espace sonore binaural entraînant de nouvelles orientations pour ce type de production (modification de la narration, mixage spécifique...). Pour arriver à définir des indices pertinents pour l'élaboration du test, il convient alors de définir, dans un premier temps, l'état de l'art des connaissances qui caractérisent l'écoute humaine (postures et types d'écoutes, principes de la localisation sonore, influences de la cognition auditive...). Une fois ces indices définis, le test sera réalisé avec deux films conçus (un en champ clos, l'autre en champ libre) suivant la technique « Plug and rec » d'enregistrement binaural de Bernard Lagnel² (ingénieur du son Radio France). L'objectif de ces tests étant d'appréhender l'influence de l'image sur la réception en sensations et perceptions de l'espace sonore binaural.

Ces premiers résultats seront une base pour associer des propositions techniques (enregistrement binaural, spatialisateur, battement binaural...) à certains rendus artistiques recherchés et surtout mieux appréhender les limites d'un procédé...

¹ Catherine de Boishéraud, programme de recherche BiLi (Binaural Listening), Conservatoire national supérieur de Musique et de Danse de Paris, 2012.

² Bernard Lagnel, http://www.duanrevig.com/excel_bl.html

TABLE DES MATIERES

a. CHOIX DU SUJET DE MEMOIRE.

I.	Une évolution comportementale mondiale	p 13
	a. La société des réseaux	
	b. De nouveaux spectateurs	
II.	La spatialisation du son par diverses méthodes	p 15
	a. La spatialisation du son, un concept ancien...	
	b. Diverses propositions techniques en spatialisation	
III.	Les besoins pour une écoute binaurale	p 19
	a. Les choix du binaural dans l'art contemporain	
	b. D'autres utilisations en écoute binaurale	
IV.	La problématique de l'insertion de l'image dans l'espace sonore binaural.	P 21
V.	Le périmètre de l'étude	p 22

b. APPREHENDER L'ESPACE « BINAURAL-IMAGE »

I.	Comment définir cet « espace acoustique virtuel »	p 23
II.	Des « intentions » pour des écoutes.	p 24
	a. Du structuralisme à la phénoménologie ou de l'auteur à l'auditeur...	
	b. La prise en compte du corps du spectateur dans son environnement.	
	c. L'importance de la vue pour l'ouïe	
III.	La localisation des sources sonores	p 30
	a. Les différents champs	
	b. Les indices de localisation directionnelle azimutale : Duplex Theory – Rayleigh (1907)	
	c. Les mécanismes de localisation directionnelle en élévation.	
	d. les HRTF - Head Related Transfert Function	
	e. Les mécanismes de la localisation de distance.	
	f. le cas spécifique des battements binauraux « psychiques »	

c. ETABLISSEMENT DES CRITERES QUALITATIFS L'ESPACE « BINAURAL-IMAGE »

I.	Pour une approche phénoménologique de l'espace « binaural-image »	p 40
II.	Détermination de la posture et de l'environnement d'écoute	p 41
	a. La posture du « spectateur-auditeur »	
	b. L'environnement du « spectateur-auditeur »	
III.	Le public testé	p 44
IV.	La sémantique du questionnaire	p 45

d. LE CHOIX DU DISPOSITIF POUR LE TEST

- I. Avantages et inconvénients du dispositif de Bernard Lagnel p 48
 - a. Les facteurs influents pour la prise de son en mode stéréo
 - b. Le descriptif du procédé de l'enregistrement binaural
 - c. Le descriptif du procédé de l'élaboration des films
- II. Le choix d'un casque pour une écoute binaurale p 51
 - a. Les types de casques par transmission au tympan
 - b. Les casques par transmission osseuse.
 - c. Casques avec spatialisation
- III. La visualisation nomade choisie p 57
- IV. Les résultats attendus p 57

e. LE DEROULEMENT DU TEST

- I. Le dépouillement p 58
 - a. Les premières impressions
 - b. Un outil de visualisation des tendances
 - c. La quantification de l'influence de l'image
- II. Observations et analyses p 62

f. LES PERSPECTIVES ET CONCLUSION

- I. Une nouvelle utilisation des espaces sonores ? p 64
- II. L'apprentissage à l'écoute de « pleine conscience » p 64
- III. Ce qui peut changer pour la conception audiovisuelle ? p 65
 - a. L'élaboration des points d'écoute dès le scénario
 - b. Des programmes spécifiques à concevoir.
- IV. Les fragilités du système et les précautions à prendre p 68
- V. Une évolution du « spectateur-auditeur » vers un espace « méditatif » p 69
- VI. Conclusion p 70

BIBLIOGRAPHIE p 72

REFERENCES FIGURES p 73

GLOSSAIRE p 74

ANNEXES p 78

A ● CHOIX DU SUJET DE MEMOIRE :

*Une idée ancienne
pour un intérêt
nouveau !*

I. Une évolution comportementale mondiale

a. La société des réseaux

« Haunting Melissa », film sorti en mai 2013, est le premier film sorti exclusivement pour application iPhone, iPad et iPod Touch. Son réalisateur, Neal Edelstein (producteur de « Mulholland drive » de David Lynch) signale que ce film ne sera pas diffusé au cinéma. En effet il considère que toute une frange de nouveaux spectateurs ne se déplacera plus dans les salles de cinéma et qu'il convient de « toucher le public » d'une autre façon. « *Je voulais trouver d'autres façons de raconter une histoire, dans sa structure et dans la façon de toucher le public, d'une manière qui utilise vraiment la technologie contenue dans ces appareils si puissants* »³.

La VOD, le streaming, sont des modes de consommations qui se développent de façon exponentielle. Si les cinéastes ne veulent plus être à la traine derrière l'industrie des jeux vidéo, ils doivent prendre la mesure de ces évolutions sociétales et technologiques. L'image a évolué en premier en utilisant, de manière plus ou moins contestable, l'image 3D ; le son, lui, commence juste à proposer des systèmes d'écoutes de haute qualité (avec les supports blu ray audio, SACD...) et maintenant le système d'écoute binaural au casque...



Fig A-1 : <http://www.hauntingmelissaVideo:> <http://www.youtube.com/watch?v=NOK0eZPWWRU>

³ <http://www.scpr.org/news/2013/05/22/37372/haunting-melissa-a-horror-series-for-your-ipad-and/>

b. De nouveaux spectateurs

Le spectateur « type » est de plus en plus difficile à définir. Avec le numérique et l'effacement des supports, le spectateur-acteur peut se faire tour à tour, joueur de jeux vidéo, réalisateur de films sur smart-phone, auditeur de musiques compressées, élève sur programme interactif ... Avec la démocratisation de l'usage des tablettes dans le milieu scolaire, il est à prévoir l'arrivée d'une nouvelle génération ayant développée des postures, des conduites d'écoute spécifiques à ces environnements.

*« En progression continue depuis la rentrée scolaire 2010, on compte maintenant environ 15000 tablettes en expérimentation dans les établissements scolaires (dans 119 écoles, 174 collèges et 42 lycées). Tous les témoignages convergent sur les qualités indiscutables de la tablette. Sa rapidité de mise en œuvre, son autonomie, sa légèreté, sa simplicité d'utilisation, sa mobilité modifierait l'organisation et l'usage des TICE dans la classe, et aurait un impact positif sur les apprentissages dans de nombreuses disciplines. **La fonction d'enregistrement et d'écoute fait de la tablette en petit laboratoire de langue.** Les appareils photos et caméras sont utilisés dans de nombreuses disciplines pour produire des comptes rendus de visites en sortie scolaire ou d'expériences en classe. La mobilité ouvre des usages jusqu'ici impossible à envisager. »* Extrait Site internet EDUCSOL 30 mai 2013

On assiste en fait au grand écart dans les modalités d'utilisation allant de l'image 3D avec un son « blu-ray audio », aux films sur tablettes et sons compressés MP3. Ces nouvelles modalités d'appréhender l'image et le son, marquent aussi la différence entre deux types de comportement: Les nomades et les sédentaires. Jacques Attali, qui avait pressenti l'arrivée du walkman (1979) dans son livre « *l'ordre cannibale* », nous démontre dans « *l'homme nomade* » (2003), un des fondamentaux de la « nature » humaine. En effet pour lui, **la nature de l'homme est profondément nomade**, ce « chasseur-cueilleur » devenu « agriculteur-propriétaire » au néolithique. Cette parenthèse sédentaire de 5000 ans (par rapport à l'histoire de l'humanité de 5 millions d'années), étant sur le point de se dissoudre depuis l'arrivée des baladeurs et d'internet...



Fig A-2 : l'arrivée des différents Walkman dans les années 80 (source Wikipédia)

⁴ Th. DU MONCEL, *Le téléphone*, Coll. "Bibliothèque des merveilles", Librairie Hachette, Paris, 5ème édition, 1887, pp. 117-127. <http://histv2.free.fr/theatrophone/ader2.htm>

b. Diverses propositions techniques en spatialisation

La stéréo et le multicanal

Avec l'invention proprement dite de la stéréophonie par Blumein⁵, s'est développé un grand nombre de techniques de captations et restitutions de spatialisations sonores (quadriphonie, holophonie...). La société Dolby avec le Dolby stéréo (procédé surround - 1980) puis le Dolby SRD (Spectral Recording Digital - 1992) a institué une norme pour des applications au cinéma (espace image/son).

Cette posture « multicanale » offre l'avantage d'être normalisée mais nécessite de créer une spatialisation au mixage. De plus la présence et le nombre de haut-parleurs réduisent l'effet « naturel » d'une écoute en champ libre ou dans un lieu clos.

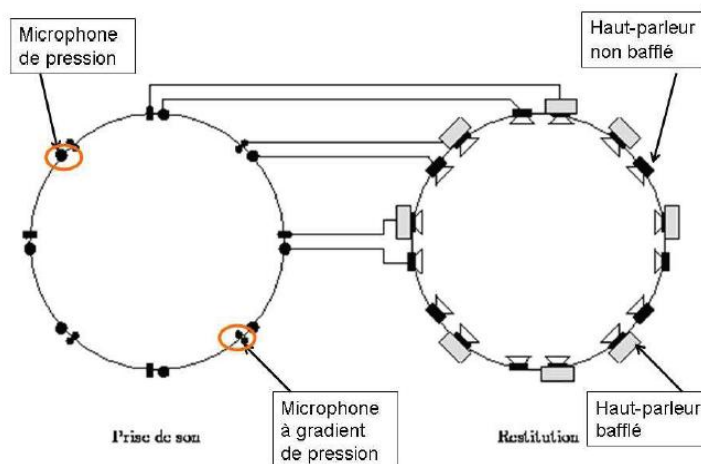


Fig A-5 : Technique de spatialisation holophonique
(ref BUS 06)



Fig A-6 : Technique de spatialisation multicanale
(ref BUS 06)

⁵ Burns, Russell W (2000). The Life and Times of A. D. Blumlein. "History of Technology series". p. 2. ISBN 0-85296-773-X.

Le binaural⁶ :

« La technique binaurale repose sur une reproduction au niveau du conduit auditif de l'auditeur, des informations acoustiques nécessaires à la construction par le système auditif d'une image sonore spatialisée. Lors de la restitution, le signal de chaque canal est envoyé respectivement dans une oreille de l'auditeur correspondante par le biais d'un casque audio. Le but de ce procédé est de reproduire tous les indices de perception des sons dans l'espace, aussi bien d'un point de vue angulaire que de celui de la distance. Cette méthode est inspirée de la vision stéréoscopique pour obtenir cet effet « naturel » d'une écoute en trois dimensions. »

Pour réaliser un enregistrement binaural, il est possible soit :

- D'enregistrer les signaux de pression acoustique incidente au niveau des oreilles d'un individu (méthode de prise de son retenue dans cette étude) ou d'une tête artificielle. **L'enregistrement binaural** consiste alors à placer des microphones dans les oreilles d'une tête, humaine ou artificielle, et à enregistrer une scène sonore. La diffusion de l'enregistrement se fait au casque sans aucun matricage des signaux.

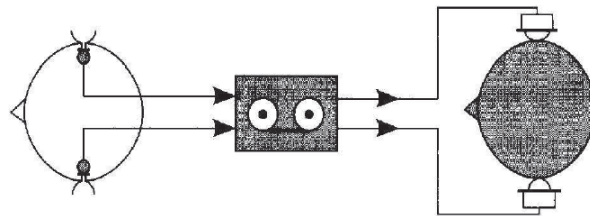


Fig A-7 :
Technique de
spatialisation binaurale
par enregistrement
binaural
(ref BUS 06)

- Ou de prendre en compte les fonctions de transferts (ou Head Related Transfer Functions, dans le domaine fréquentiel), fonctions permettant de synthétiser (**synthèse binaurale**) les indices de localisation sonore.

On pratique alors la synthèse binaurale soit par⁶ :

- La mesure des HRTFs d'un individu puis la synthèse des signaux binauraux à partir de ces mesures
- la modélisation des HRTFs à l'aide de modèles physiques (morphologie de la tête) pour stimuler les fonctions de transfert binaurales
- la modélisation des HRTFs à l'aide de modèles analytiques

Le procédé de synthèse binaurale ne sera pas pratiqué dans cette étude. Seul l'enregistrement binaural avec une tête non artificielle sera mis en œuvre.



Fig A-8: Tête artificielle Real Neumann KU-100

⁶ Source définition wikipédia http://fr.wikipedia.org/wiki/Enregistrement_binaural

⁶⁻¹ Séminaire audio 3D, Orange Labs R et D, 2013, fichier PDF

Si les premières expériences binaurales datent des années 30 aux états unis (avec le mannequin OSCAR)⁷ avec des tentatives de radiodiffusion, l'expérience en restera là car les exigences de production (nécessité d'enregistrer en extérieur pour les ambiances ou concerts live...) et diffusion au casque, étaient trop onéreuses. On retrouve ainsi pour le son, les mêmes aléas que pour la 3D à l'image. Les principes sont connus mais la technologie et l'économie ne sont pas encore prêtes. Il faudra attendre l'arrivée du walkman dans les années 80 pour voir Sony sortir un baladeur enregistreur (WMR15 en 1984) avec un casque enregistrant en mode binaural. Les microphones à droite et à gauche du casque utilisant la tête de l'auditeur pour produire ses propres enregistrements. Avec l'essor des casques de Walkman, les artistes s'essayaient à la technologie d'enregistrement binaurale ou « holophonique » (Pink-Floyd en 1983 avec l'album « Final cut » et Mickael Jackson en 1987 avec l'album « Bad »... Le groupe Pearl Jam en 2000) mais son utilisation restera marginale.

La nomadisation des écoutes (tablettes, i-phone...), le développement de la 3D pour l'image et les jeux vidéo (jeu « Zen Bound »), poussent les diffuseurs et les industriels à s'associer afin de développer des spatialisateurs (Longcat, Jean-Marc JOT à l'IRCAM...) et des algorithmes interpolant du multicanal en binaural (ex : Projet BILI). Si le binaural fait l'objet de nombreuses études récentes, c'est en grande partie lié au fait de l'utilisation de seulement deux canaux (sans passer par le système DOLBY) pour l'obtention de l'immersion de l'auditeur...



Fig A-9: Enregistrement du concert de Beck avec une tête binaurale en 2012 (ref BEC 12)

⁷ Bernard Lagnel, « L'enregistrement Binaural et sa petite histoire », duanrevig.com, 2013

III. Les besoins pour une écoute binaurale

a. les choix du binaural dans l'art contemporain

Les artistes, avant les cinéastes et les industriels, ont su défricher l'univers du son binaural et autres réalités augmentées. L'artiste allemande, **Christina Kubisch**, recompose un étonnant paysage sonore avec des sons présents dans la ville du XXI^e siècle et pourtant habituellement imperceptibles... Ses « promenades électromagnétiques » permettent une toute nouvelle expérience de la ville qui met au jour les phénomènes acoustiques. Ce qui se donne à entendre ne correspond pas à ce qui se voit. Chaque promeneur est équipé d'une carte et d'un casque audio. Ces casques conçus par Christina Kubisch sont dotés de capteurs qui transforment en fréquences audibles les ondes électromagnétiques. Ils révèlent la musicalité insoupçonnée des ondes émises par les éclairages publics, portillons de sécurité, téléphones portables, antennes, écrans de téléviseurs, etc. L'expérience de cette réalité sonore augmentée met l'auditeur dans une posture d'écoute nouvelle ; la sensation éprouvée est »étrange « car ces sons inaudibles sont par nature non reconnaissables.

Les Métamorphoses de l'artiste **Erik Samakh** (Aix en provence), il propose des installations sonores binaurales en introduisant des perturbations dans l'espace... L'enregistrement binaural étant réalisé avec une tête artificielle Neumann.



Fig A-10: Expérience de réalité sonore augmentée avec Christina Kubisch en juillet 2011 à Nancy

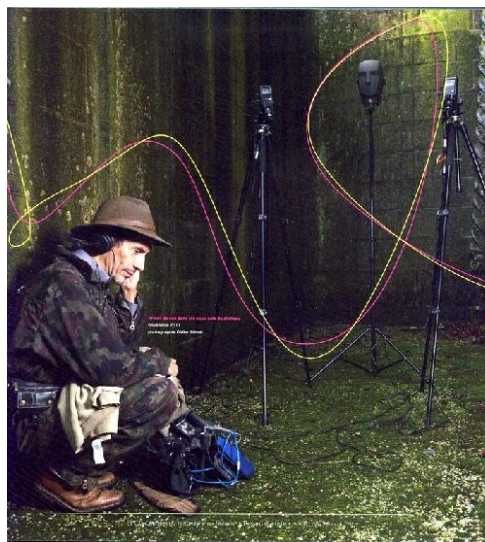


Fig A-11: Erik Samakh dans « Métamorphoses » avec la tête artificielle Neumann

b. D'autres utilisations en écoute binaurale

Des applications actuelles et futures :

- Au Japon, le service "Réservation" ⁸ d'une salle de concert propose depuis quelques années au **client d'entendre immédiatement le son qu'il percevra depuis la place qu'il a choisie**. Ce système étant basé sur la convolution de réponses impulsionnelles.
- La NASA ⁹ travaille beaucoup sur le repérage dans l'espace, en conditions d'apesanteur. Il apparaît que la création, par un casque capteur de mouvements, **d'un univers acoustique crédible suivant fidèlement les évolutions des astronautes, aide ceux-ci à mieux se repérer et à lutter contre le mal de l'espace**.
- **Les compagnies européennes de téléphone ⁸, pour les téléconférences**. Une téléconférence rassemble des participants autour d'une table de réunion virtuelle là aussi, le son doit "suivre l'image". Lorsque plusieurs intervenants parlent en même temps, ils saturent le canal de transmission sonore, aucune discrimination n'est plus possible, le message est perdu. Replacer ces intervenants dans un environnement sonore spatialement crédible permet de gagner de l'intelligibilité
- **Les contrôleurs aériens⁸**: Ceux-ci travaillent sur une interface visuelle déjà modélisée : les signaux lumineux correspondant aux avions apparaissant sur leur écran de contrôle. La vigilance du sens visuel demande un effort constant, alors que le sens auditif est peu actif : En sachant (voir chapitre B.2.c) que la concordance des stimuli augmente la motricité, il est intéressant qu'en situation de crise, où la rapidité prévaut, qu'un signal d'alerte soit donc plus vite ressenti et discriminé par un signal auditif que par un signal visuel. L'environnement 3D du binaural permettant de localiser rapidement la source de l'alerte.



Figure 20. View of the B-format microphone at measurement location loc.1 with the mannequin in the foreground at measurement location loc.2.

Fig A-11: Etude de la NASA sur le son binaural (ref NASA 01)



Fig A-12: casque binaural dans le contrôle aérien
<http://www.claricom.fr>



Fig A-13: FARCRY2 a utilisé le son binaural.(ref UBI 10)

La rééducation de personnes devenues aveugles ¹⁰ à la suite d'un accident : Développer et éduquer leur sens auditif progressivement, en ayant recours à des acoustiques de pièces virtuelles diffusées dans un casque, leur permet de retrouver un moyen d'appréhender les volumes et les distances, que les non-voyants de naissance ont intégré dès leur plus jeune âge.

- **Les jeux vidéo ¹¹ ont un besoin croissant d'une ambiance sonore immersive la plus « naturelle » possible et ceci pour trois objectifs** : pour un meilleur contrôle des émotions du joueur, pour améliorer la précision des sources sonores étant donné le grand nombre d'informations véhiculées dans le même temps au joueur, et enfin assurer un « feedback » immersif. Chez Ubisoft, par exemple, on envoie des ingénieurs du son avec des têtes artificielles pour des prises de sons dans le monde entier (ex : Audiogamming mandaté par Ubisoft pour FarCry2). Certains jeux contiennent même les informations nécessaires à la réalisation de synthèse binaurale par le calculateur de la console pour lequel ils sont développés. **C'est dans les jeux vidéo que la recherche et développement est le plus développé et ouvre des voix pour les futures orientations interactives des productions audiovisuelles.**

⁸ Franck Ernould, Son vidéo magazine, 1997, <http://franck.ernould.perso.sfr.fr>

⁹ F.Grosveld, Binaural Simulation Experiments in the NASA Langley Structural Acoustics Loads and Transmission Facility, 2001

¹⁰ G. Parsehian, Sonification binaurale pour l'aide à la navigation, Université Paris VI, 2012

¹¹ <http://audioposttidbits.tumblr.com/post/6971991029/>

IV. La problématique de l'insertion de l'image dans l'espace sonore binaural.

Nous avons vu précédemment tous les besoins exprimés pour un système sonore binaural seul et son adjonction récente avec l'image (visioconférence, réalité virtuelle...). Si l'espace sonore binaural et ses artéfacts ont fait l'objet d'études¹² depuis les années 60, l'arrivée récente des images audiovisuelles « nomades » et largement diffusées (hors des salles de cinéma ou télévision), n'ont pas été prises en compte dans les modifications de perceptions de cet espace sonore même ! Si cette problématique n'a que peu été évoquée, elle est certainement liée aux structures industrielles mêmes des pôles de recherches. En effet une société comme Ubisoft, pourtant porteuse de développement en matière d'écoute binaurale, à une structure industrielle en « îlots » où l'ingénierie sonore n'est qu'une étape du process de fabrication du jeu vidéo. Les conséquences de cette structure « non matricielle » ont pour effet, un manque de dialogue (voir quasi-absence) entre les programmeurs des jeux, les graphistes et les sound-designers (chacun travaillant de son côté). Dans un autre contexte, si le vaste projet BILI (Binaural Listening) a comme finalité de produire des normes en réunissant divers industriels du secteur audiovisuel français, il est dans une logique soumise à l'aspect « commercial » où seule la production de plug-in « prêt à consommer » reste l'objectif non avoué. C'est-à-dire en transformant, via « une moulinette », des programmes initiaux produits en multicanal en programmes binauraux.

En ne prenant pas en compte les interactions « Espace Images/Espace sonore », c'est nier l'essence même du cinéma (la question du hors-champ...). Il a été, en effet, constaté une compensation et une amélioration de l'acuité auditive chez les aveugles^{12b} avec les programmes binauraux. Les performances de la plasticité du cerveau nouvellement observée ainsi que la prise en compte de la complexité de la notion d'écoute (la posture d'écoute, les interactions avec la vue et le cerveau...), laisse entrevoir l'évolution vers une nouvelle typologie de spectateurs (ce qui est bien ici l'enjeu !). Car avec le développement des programmes nomades, c'est bien l'avènement de nouvelles générations éduquée et formée sous l'influence de ce nouveau mode de diffusion, auquel nous assistons. Cette étude, en ayant recours à des tests simples, dans un périmètre défini (voir chapitre suivant), vise à appréhender cette complexité des interactions des espaces (Sons/Images), et ainsi de prendre en compte cette réalité dans la fabrication des programmes audiovisuels nomades binauraux...

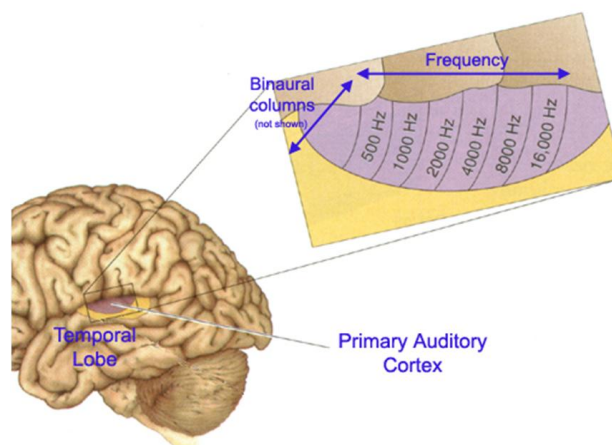


Fig A-14: Partie du cerveau correspondant aux facultés auditives (réf MOR 12).

¹² Von Bekesy, G. (1960). Experiments in hearing. Acoustical Society of America, mcgraw-hill book company edition

^{12b} Vincent Choqueuse, IUT de Brest.

V. Le périmètre de l'étude.

D'autres nouvelles applications apparaissent, où la problématique des interactions « image/son » est posée, du fait du médium « internet »... Pour simplifier, ces applications sont nommées sous le titre générique de POM¹³ (« Petite Œuvre Multimédia » en français...) où l'on retrouve les webdoc (genre de diaporama où le son est traité à la manière d'un reportage radio, voir site « lemonde.fr »), les films d'artistes, les bandes-dessinées pour internet (professeurcyclope.fr), et toutes sortes de programmes courts où l'image est souvent non animée. Etant l'émulation de concepts « anciens » sur papier (reportage presse écrite, bande dessinée...), tous ces programmes ou POM ont en commun deux principes liés au médium internet : l'introduction du son et l'interactivité. Si le questionnement sur l'apport du « son » pour les POM est quelque chose de nouveau pour les créateurs ou journalistes, un site comme « novoson » de radio-France essaye de défricher et de présenter les possibilités qu'offrent les différents espaces sonores (binaural, multicanal, stéréo...).

Dans le cadre de ce mémoire, je me limiterai aux productions audiovisuelles d'images animées afin d'appréhender les influences de ce type d'images non séquentielles sur l'espace sonore binaural.

Bande dessinée (webcomic) pour internet :
(extrait wikipédia)

« Face au succès de l'iPhone en France, plusieurs acteurs sont apparus pour décliner la bande dessinée sur smartphone, avec une visibilité croissante fin 2009 : Aquafadas et sa plateforme Ave!Comics, MobiLire, Forecomm, BDTouch ou encore Choyooz. Souvent indépendants des éditeurs, tous s'appuient sur le développement d'une visionneuse destiné à faciliter la lecture de bande dessinée sur écrans. Les visionneuses s'appuient souvent sur des effets visuels et sonores pour contrebalancer le petit format des écrans de téléphones. »

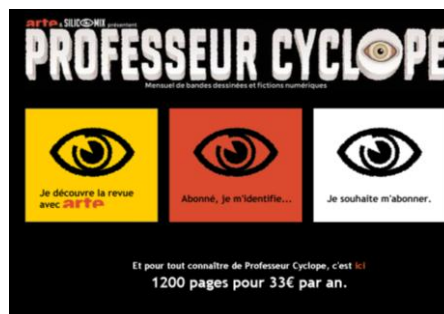


Fig A-15: « professeur cyclope » le dernier webcomic français - www.professeurcyclope.fr

"La Zone", lauréat du Prix France 24 - RFI du webdocumentaire 2011

Le Monde.fr | 22.04.2011 à 17h46 • Mis à jour le 13.02.2013 à 12h19

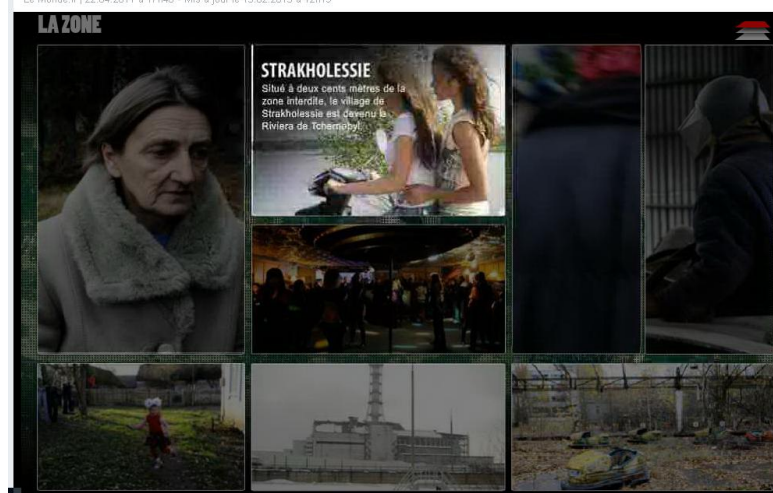


Fig A-16: Webdocumentaire « La zone » sur « lemonde.fr »

¹³ Une Petite Œuvre multimédia ou PETIT OBJET MULTIMÉDIA, (acronyme POM ou POEM) est une réalisation vidéo qui associe photographie, réalisateur, webdesigner, créateur sonore ou illustrateur. Ce média linéaire est fondé sur un montage de photographies. sa réalisation sonore est très poussée.

(Ref : POM+F – Enjeux des nouvelles écritures et des nouveaux usages de l'image et du son, sur le site de FreeLens)



Fig B-17: L'artiste Jean Auscher 1960 (ref CHAT 09)

B. APPREHEND R L'ESPACE « BINAURAL- IMAGE » :

*UNE CONCEPTION SINGULIERE
DU MONDE : UN MONDE UNIFIE
ET NON PLUS FRAGMENTE ...*

Ce chapitre doit nous permettre de définir les postures d'écoute et les facteurs indiciels (paramètres mesurables) nécessaires pour une appréhension de l'espace binaural. La prise en compte de la posture d'écoute « nomade », du rôle de l'image dans les stimuli image-son, et des indices (fréquentielles et temporels), se fera par l'élaboration de critères de qualité pour un test perspectif de l'espace sonore.

I. Comment définir cet espace acoustique virtuel (ou VAS ¹⁴ Virtual Auditory Space) ?

La position spatiale d'un son est déterminée par l'analyse du cerveau des différentes interactions temporelles et fréquentielles liées à la tête et aux oreilles externes. Il est donc important de connaître les différents indices perceptifs. **Un indice sera ainsi défini comme une mesure objective d'un phénomène psychophysique.** Il renseigne sur une propriété de la perception sans porter de jugement subjectif (de préférence). Dans un second temps, et **à partir de la connaissance de ces indices, il sera établi une liste des critères qualitatifs** qui seront la base de l'établissement du questionnaire du test. Le procédé binaural, en s'appuyant sur les résultats des études physiologiques devant provoquer une perception la plus proche d'un espace sonore naturel

Pour ce mémoire, et afin de simplifier la réalisation de l'étude, la diffusion ne se fera qu'au casque (avec enregistrement binaural) en laissant le procédé d'écoute transaural (voir annexe) sur haut-parleurs.

¹⁴ Différentes dénominations pour qualifier un espace sonore virtuel ont été surtout défini pour la synthèse binaurale. Le plus souvent en langue anglais, elles sont utilisées dans la littérature pour faire référence à ce genre de systèmes : 3D-audio , VAD pour Virtual Auditory Display], VAS pour Virtual Auditory Space , ou encore VAI pour Virtual Acoustic Imaging
Virtual Auditory Space: Generation and Applications, edited by Simon Carlile, 1996 R.G. Landes Company.- http://cns.bu.edu/~shinn/Carlile%20book/chapter_4.pdf

II. Des « intentions » pour des écoutes.

Le son n'est pas unique, isolé dans la nature, il suppose toujours une relation de couplage avec une écoute. Aborder « l'écoute » est fondamental dans notre attitude face à l'espace sonore. Appréhender le sonore n'est pas écouter. « Ecouter, c'est déjà être en position de décodage... »¹⁵ En effet celle-ci va au-delà de la simple description objective physique d'un évènement (acoustique, mesures physiques), elle est la résultante d'un mécanisme psycho-acoustique subjectif complexe (le son perçu). Si pour François J. Bonnet « L'écoute est toujours prédéterminée par des intentions »¹⁵, la physiologie distingue deux voies auditives : l'une primaire (rapide et sollicitant l'écoute réflexe) et l'autre non-primaire appelée « réticulaire »¹⁷ (sélection des différents messages sensoriels par le cerveau, sollicitation de l'éveil et motivations). Certains philosophes ont eu une intuition sur les origines primitives de l'audition. Pour Nietzsche, l'écoute primordiale est décrite ainsi: « l'oreille, organe de la peur, n'a pas su se développer aussi amplement qu'elle l'a fait que dans la nuit ou la pénombre des forêts et des cavernes obscures, selon le mode de vie de l'âge de la peur, c'est-à-dire du plus long de tous les âges humains qu'il y ait jamais eu. »¹⁶.



Fig B-18 : Schéma des voies auditives <http://www.cochlea.org/spe/cerveau-auditif-2.html>



Fig B-19 : John Cage en 1954.

John Cage nous a montré, à travers une expérience d'écoute, que l'on doit prendre en considération la manière dont le spectateur « vit et éprouve une réception ». En 1954, John Cage créait une œuvre appelée « 4 minutes 33 secondes », pendant laquelle un pianiste reste en silence les bras croisés devant son instrument, sans jouer une seule note. Le public se met alors dans une attitude d'écoute intense pendant les 4 minutes 33, qui souvent sont conclues par des applaudissements enthousiastes ! Cette « intention » du spectateur, mise ici en évidence, conditionne ainsi notre posture d'écoute et par-delà même nos capacités de réception. Cette approche phénoménologique de l'écoute change ainsi notre point de vue sur le monde au lieu de « l'objectiver »¹⁸.

¹⁵ François J. Bonnet, « les mots et les sons, un archipel sonore », éditions de l'éclat, p65, 2012.

¹⁶ Friderich Nietzsche, Aurore, Œuvres philosophiques complètes, Gallimard, 1970, p 182.

¹⁷ M. Thomas, « Appareillage de la surdité unilatérale », Université Henri Poincaré, Nancy, 2011

¹⁸ S. Garner, « Phenomenology and performance in Contemporary Drama », university press 1994

a. Du structuralisme à la phénoménologie ou de l'auteur à l'auditeur...

Pierre Schaeffer dans son livre « Traité des objets musicaux »¹⁹ propose une typologie, d'influence « structuraliste », en quatre spécialisations (sans hiérarchie, ni frontière) :

« Naturelle » pour ECOUTER,

« Culturelle » pour COMPRENDRE,

« Praticienne » pour ENTENDRE,

« Banale » pour OÛIR.

L'écoute de la musique de film sera ainsi différente pour le compositeur, le musicien ou le réalisateur (Le compositeur, lui, aura une vision d'ensemble de son œuvre tandis que le musicien aura tendance à contrôler la justesse de ses notes). Mais cette approche par « morceaux » faisant partis d'un « tout », est un point de vu résolument tourné vers l'auteur. Or l'expérience binaurale, en tant qu'expression sensorielle, se rapproche plus d'une écoute globale, allant à l'encontre des idées structuralistes, pour aller plus vers une phénoménologie de l'œuvre. « La totalité est différente de la somme de ses parties et l'essentiel de cette vue est que la perception d'un évènement ou d'un objet ne peut pas être prédite exactement au moyen de la connaissance acquise par la perception des différentes parties de l'évènement ou de l'objet »²⁰. L'écoute binaurale, par le fait même de l'utilisation d'un casque, est donc, résolument tournée vers l'auditeur (et cette singularité donne ainsi toute la pertinence à une approche phénoménologique).

4. COMPRENDRE - pour moi : signes - devant moi : valeurs (sens-langage) Emergence d'un contenu du son et référence, confrontation à des notions extra-sonores	1.ÉCOUTER - pour moi : indices - devant moi : événements extérieurs (agent-instrument) Emission du son	1 et 4 : objectif
3. ENTENDRE - pour moi : perceptions qualifiées - devant moi : objet sonore qualifié Sélection de certains aspects particuliers du son	2. OÛIR - pour moi : perceptions brutes, esquisses de l'objet - devant moi : objet sonore brut Réception du son	2 et 3 : subjectif
3 et 4 : abstrait	1 et 2 : concret	

Fig B-20: Pierre Schaeffer, Traité des objets musicaux, p. 116

¹⁹ Pierre Schaeffer, Traité des objets musicaux, paris, Seuil, 1966, p 113.

²⁰ C.Tindeemans, « Théâtre de toujours. Hommages à Paul Delsemme, éditions de l'Université de Bruxelles, 1983, p52

b. La prise en compte du corps du spectateur dans son environnement.

L'auditeur/spectateur d'une écoute binaurale nomade fait physiquement, matériellement, parti d'un lieu, d'un espace ouvert sur le monde. Au contrario de la salle de cinéma où la projection filmique est dite « hallucinée »²¹ dans un environnement « dématérialisé ». « Bien difficile à évaluer, l'effet produit sur le spectateur n'en est pas moins au cœur de la participation événementielle, autant de stimuli qui agissent directement sur la mémoire corporelle »²¹. Dans le cas de l'écoute binaurale, le corps matériel (tête, torse, pavillons) entraîne de plus, des artéfacts de l'espace sonore (sensations de manque de frontal...), ce qui donne pour chaque spectateur un espace sonore singulier ! L'écoute « écologique », telle que le définit Roberto Barbanti, est une écoute qualitative de l'environnement qui met en jeu les modes de représentation du monde sonore. Il définit ainsi cette écoute du monde « Les technologies du son ont changé en large mesure notre relation à l'espace, au temps, au milieu physique et social ainsi qu'à notre propre imaginaire. Toute écologie, mais il faudrait parler plutôt « d'écosophie », c'est-à-dire d'un rapport équilibré à la nature, à la communauté humaine et à son propre psychisme, ne peut pas faire l'économie d'une réflexion concernant l'impact et les conséquences de ces technologies sur les équilibres inhérents à ces rapports. »²² Cette vision du monde s'inscrit pleinement dans celle du « monde des espèces » de Jakob von Uexküll²³, là où les frontières entre subjectif et objectif deviennent poreuses par l'articulation continue de l'Umwelt/Umgebung (dehors/dedans). Dans cette perspective, les aveugles²⁵ développent des modalités proprioceptives²⁴ singulières en pratiquant. l'écholocalisation des lieux et l'imagerie mentale (volume, géométrie revêtements intérieurs).



Fig B-22: McCloud , « l'art invisible », Vertige Graphic 1999

²¹ Patrice Pavis, « l'analyse des spectacles », Armand Colin, 2012, p240

²² R.Barbanti, la revue des Sonorités, « Penser l'écologie sonore aujourd'hui. Éléments d'analyse », pp.11-32. (http://www.architecturemusiqueecologie.com/Programme_fr.html)

²³ Naturaliste et biologiste allemand, Jakob von Uexküll a forgé deux concepts essentiels : celui d'Umwelt (le monde extérieur) et celui d'Innenwelt (le monde intérieur). Chaque espèce vit dans un environnement unique, déterminé par ses récepteurs sensoriels. (source encyclopédie « Universalis »)

²⁴ Modalités proprioceptives : La proprioception (du latin proprius signifiant « propre » et du mot « perception ») désigne l'ensemble des récepteurs, voies et centres nerveux impliqués dans la somesthésie (sensibilité profonde), qui est la perception de soi-même, consciente ou non, c'est-à-dire de la position des différents membres et de leur tonus, en relation avec la situation du corps par rapport à l'intensité de l'attraction terrestre..(source wikipédia)

²⁵.Clifton, R. K., Freyman, R., and Meo, J. (2002). "What the precedence effect tells us about room acoustics," Percept. Psychophys. 64, 180–188

- c. L'importance de la vue pour l'ouïe
- L'effet « cocktail party »¹

« Il est clair que la parole met en jeu d'autres modalités que le son, en particulier les représentations visuelles du visage parlant. Les études menées en laboratoire ont montré comment les représentations auditives et visuelles interagissaient étroitement pour l'identification phonétique. La modalité visuelle conduit ainsi à des gains substantiels d'intelligibilité en milieu bruyé (dans la rue, le métro). »

C. ABRY et J.L. SCHWARTZ ²⁶

Une des qualités de l'écoute binaurale est de favoriser « l'écoute focale » ou encore appelée « effet cocktail », qui par l'entremise d'une stratégie psycho-auditive, développe l'acuité de focaliser son attention auditive sur un interlocuteur au travers d'une cacophonie de voix et d'un bruit de fond ambiant. « Cet effet est intimement lié aux mécanismes propres de la production de la parole, lui permettant entre autres par la reconnaissance visuelle des apparences physique de la diction d'autrui de reproduire par cognition auditive l'intégralité du discours. » ²⁷ Ce rendu est particulièrement sensible dans le cas d'une spatialisation des sources. Spieth, du laboratoire électronique de la marine de San Diego, a montré la capacité de l'être humain à se focaliser sur une source ayant une direction spatiale bien déterminée (car l'oreille peut passer facilement d'une source à l'autre) d'où l'intérêt du son binaural pour obtenir cet effet, spécifique d'une écoute naturelle. Mais pour une impression maximale il faut aussi considérer les facteurs suivants dans le cadre de la voix ²⁸ :

- 1- Les voix doivent venir de différentes directions (importance de la spatialisation)
- 2- La lecture sur les lèvres et de la gestuelle (importance motrice de la vue !)
- 3- Plusieurs voix donc plusieurs hauteurs, plusieurs vitesses, différenciation homme /femme...
- 4- La diversité des accents
- 5- Les transitions possibles (basées sur les différents thèmes, la dynamique des voix, la syntaxe...)

On notera aussi que ce « zoom » sonore est la plupart du temps accompagné de micro-déplacements de la tête, de manière à toujours clarifier la position de la source dans le contexte (une recherche permanente d'optimisation en localisation sonore...). Hormis la voix, l'expérience montre ²⁹ qu' il est aussi important de prendre en compte la mémoire sensorielle et le traitement du cerveau. En effet, on entendra d'autant mieux un instrument de musique (lors de l'enregistrement d'un concert de musique classique par exemple) lorsqu'il est connu et visible en gros plan à l'image ! (si l'on a déjà la connaissance du son de cet instrument).

²⁶ Schwartz, J.L., Abry, C., Boë, L.J., Ménard, L., & Vallée, N. (2005). Asymmetries in vowel perception, in the context of the Dispersion-Focalisation Theory. *Speech Communication*, 45, 425-434.

²⁷ Brice Cannavo « Pour un Théâtre de l'Obscurité », le masque et la plume, 2007, p 21-22

²⁸ W. Spieth, J. F. Curtis, and J. C. Webster. Responding to one of two simultaneous messages. *Journal of the Acoustic Society of America*, 26(1):391-396, May 1954

²⁹ E. C. Cherry. Some experiments on the recognition of speech, with one and two ears. *Journal of the Acoustic Society of America*, 25:975-979, 1953
<http://xenia.media.mit.edu/~barons/html/cocktail.html>

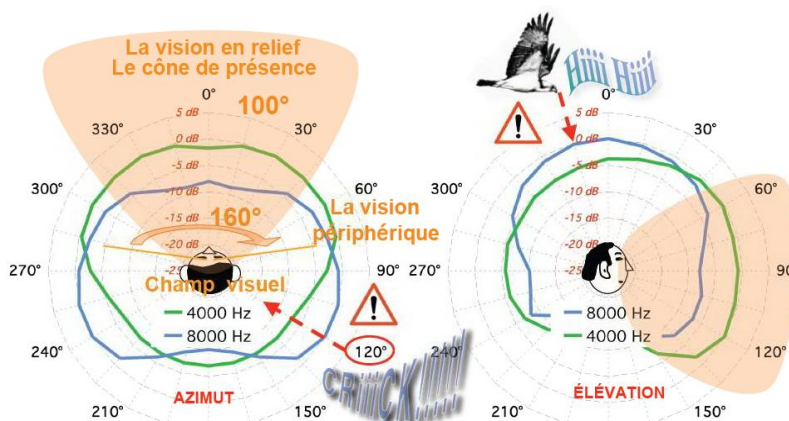


Fig B-23 : Sound reproduction Floyd E Tood , Domaine cognitif sensoriel dans un environnement 3D, Les HRTF de Robinson & Whittle 1960 (ref LAG 13)

Cette association du « cône de présence » de la vue à la directivité des oreilles, permet donc au cerveau d'obtenir les informations suffisantes pour une discrimination des sons (voir fig B-23), en rehaussant le son sélectionné aux dépens des autres. Mais notre cerveau est, pour partie, le résultat d'un apprentissage.³⁰ L'ouïe faisant partie des premières connexions neuronales développées par le fœtus (après le toucher), elle entre en jeu de manière importante dans la construction de notre cerveau³¹ Cet apprentissage, basé sur la comparaison visuelle/auditive (le nourrisson règle sa perception sonore sur sa perception visuelle et la première tâche qu'il effectue est de repérer la provenance de la voix de sa mère.) s'améliore tout le long de la vie. Ainsi dans le cas de l'écoute « primaire », le son est localisé par l'ouïe, l'indice spectral du son est reconnu par notre mémoire (grâce à la cognition auditive)³² et confirmé avec la vue (les expériences avec des aveugles ont montré que la vue n'a qu'une faible influence sur la localisation)²⁷.

Cet effet « naturel » a intéressé dans un premier temps (années 1950) la recherche dans le domaine du contrôle aérien. A cette époque, les contrôleurs recevaient de manière indifférenciée et sur le même haut-parleur le message de chacun des pilotes en phase d'atterrissage, et pour éviter les ambiguïtés, les contrôleurs suivaient une formation intensive améliorant leur potentiel de discrimination des messages vocaux simultanés et superposés. Mais à l'heure actuelle c'est l'industrie des jeux vidéo qui s'intéresse le plus à la discrimination sonore produite par l'enregistrement binaural. Vu le très grand nombre d'informations que doit gérer un joueur, cela oblige à des stratégies d'écoute et de hiérarchisation, que seule permet la spatialisation précise et stable du binaural.

³⁰ Appareillages stéréophoniques et monostéréophoniques, Précis d'audioprothèse Tome 2 page 123. *Stéréoacoustie et audition binaurale*

³¹ Le cerveau du musicien. Organisation spécialisée des régions consacrées à l'audition et au toucher, A. Engelien, T. Elbert, C. Pantev. revue médecine des arts, n°28.

³² *La question de la reconnaissance des sons est centrale pour la parole et pour la musique. Cette reconnaissance implique un modèle de la perception auditive — l'audition — et une mémoire auditive, qui fournit les éléments pour comparer les perceptions. L'approche de l'audition en tant que cognition postule que « l'information sensorielle doit être interprétée pour donner naissance à une perception cohérente ». L'existence d'illusions auditives prouve que cette interprétation peut être incorrecte .*
Stephen McAdams et Emmanuel Bigand , Penser les sons : Psychologie cognitive de l'audition, Paris, PUF, coll. « Psychologie et sciences de la pensée », 1994, 1^{re} éd., 402 p.

- L'image motrice : spatialisation des stimuli

« Giard et Peronnet en 1999 ont proposé à des individus de détecter une source purement visuelle, une source purement auditive, puis une source congruente des deux modalités. Les résultats sont attendus, le temps de réponse moyen pour une présentation auditive et visuelle seule est de respectivement : 621 et 631 ms alors qu'à l'association des deux ce temps est réduit à 562 ms. Des études approfondies dans ce domaine ont montré que cette facilitation est à son maximum dans le cas d'une détection de similarités spatiales et non, par exemple un lien entre la hauteur d'un son et la hauteur géographique d'une image sur un écran »³³.

Nous avons vu dans le paragraphe précédent que l'image aide le cerveau à compléter l'information sonore. On distinguera mieux les paroles dans une foule si on peut voir les lèvres. **Elle associe le geste moteur, dans le cas de la parole, ou la mémoire sensorielle dans le cas d'un instrument de musique.** Une série d'études³³ en 1999 montre que lorsqu'il y a une différence de corrélation en localisation entre les stimuli visuels et auditifs, il se produit un trouble de nos sens. « Un écart angulaire allant jusqu'à 40° entre les positions réelles des sources visuelle et auditive peut être toléré pour que les deux événements semblent être spatialement coïncidents ». « Cette hésitation liée au trouble de localisation est accompagnée par des saccades oculaires et des mouvements de tête »³⁴. Ces derniers ne sont pas souhaitables dans le cadre du visionnage d'un film ! De plus, dans le cas d'un manque de synchronisme entre image et son, nous disposons d'une réserve temporelle (mémoire tampon) , nous permettant schématiquement de stocker l'information visuelle pour lui adjoindre le bagage sonore retardé et se donner l'impression que tout est synchrone. Au niveau de la mémoire à long terme, les informations provenant d'une séquence audiovisuelle non synchrone auront tendance à être moins bien retenues par le sujet. Le travail simultané de resynchronisation apportent à l'individu une compréhension ponctuelle, mais plus fragile lorsqu'il s'agit d'intégration à longue durée. L'être humain éprouve ainsi un besoin irrésistible de trouver des points de synchronisation afin de retrouver un système en équilibre...

Effet de cibles congruentes

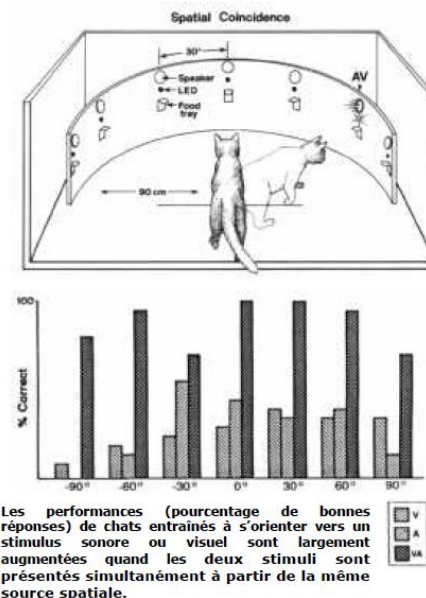


Fig B-24: la spatialisation des stimuli augmente l'effet ! (ref CAN 07)

³³ Giard et Peronnet ,Auditory-visual integration during multimodal object recognition in humans: a behavioral and electrophysiological study, INSERM-U280, 151, Cours Albert Thomas, F-69424 Lyon Cedex 03, FRANCE. giard@lyon151.inserm.fr

³⁴ Brice cannavo« Pour un Théâtre de l'Obscurité », Mémoire de fin d'étude dirigé par Marie-Jeanne Wyckmans,2007, p35

III. LA LOCALISATION DES SOURCES SONORES

Nous avons vu précédemment, dans le cas d'une écoute d'alerte, toute l'importance de la localisation. **Mais vouloir caractériser un espace sonore nécessite dans un premier temps de passer en revue les capacités de perception spatiale de l'être humain...**

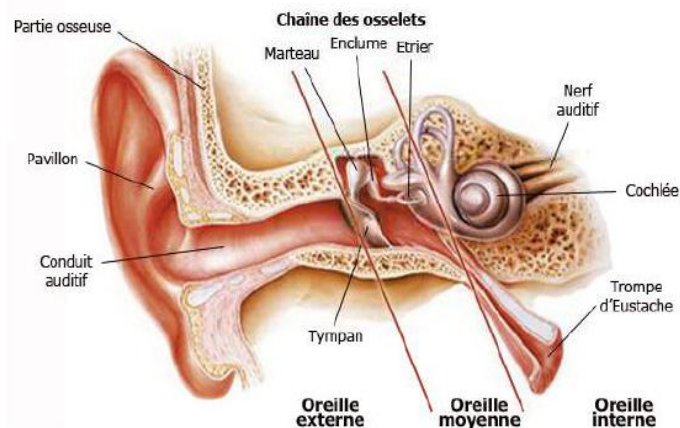


Fig B-25 : Schéma de l'oreille (ref OST)

« L'oreille se décompose en trois parties : interne, moyenne et externe. Si l'oreille interne transforme l'énergie mécanique en influx nerveux (et informe le cerveau !), si l'oreille moyenne est un adaptateur d'impédance entre le milieu aérien de l'oreille externe et le milieu liquidien de l'oreille interne, c'est au niveau de l'oreille externe (pavillon) que se joue la spatialisation sonore par la transformation, ou transfert, en amplitude et en phase de la pression sonore. »³⁵.

Il faut aussi mentionner aussi la question de la conductivité de la structure osseuse du corps, spécialement de la tête, et des réflexions sonores causées principalement par le thorax. La précision en localisation d'une source sonore par voie osseuse étant équivalente à la localisation aérienne (tympan) ³⁶. Mais de tous les mécanismes de l'audition directionnelle, la localisation ostéophonique est la plus vulnérable aux influences extérieures (vibrations...) dans le cas d'une écoute au casque dans un environnement nomade.

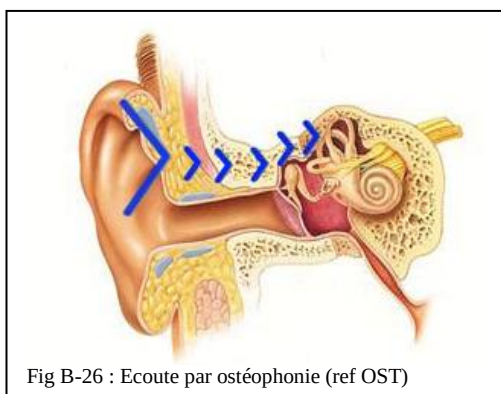


Fig B-26 : Ecoute par ostéophonie (ref OST)

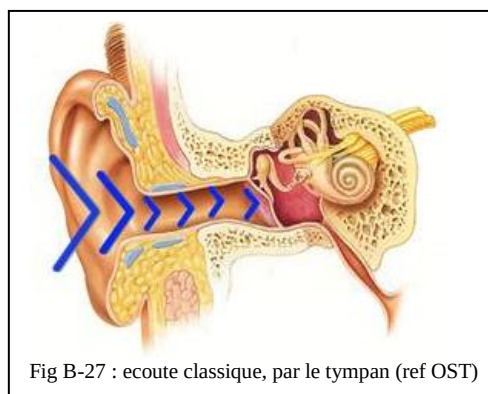


Fig B-27 : écoute classique, par le tympan (ref OST)

Si la localisation de l'objet sonore par l'azimut, l'élévation, la distance (en statique) et la vitesse (en dynamique) dans l'espace sonore est important, elle ne permet pas d'appréhender la « qualité » de cet espace. Seules Les réflexions multiples des ondes sonores sur les obstacles naturels ou artificiels peuvent aider à la définir...

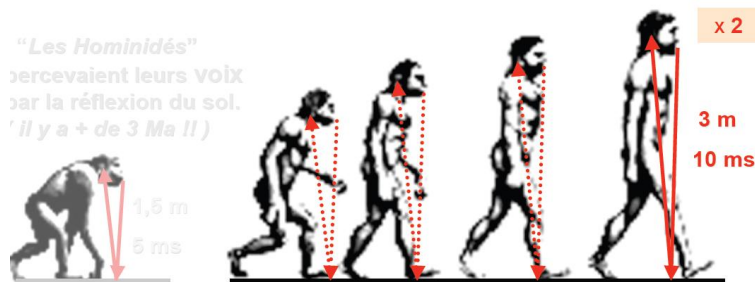
³⁵ Brice cannavo « Pour un Théâtre de l'Obscurité », Mémoire de fin d'étude dirigé par Marie-Jeanne Wyckmans, 2007,

³⁶ MacDonald, Spatial audio through a bone conduction interface, International Journal of Audiology 2006;

a. **Les différents champs.**

- **Les réflexions en champ libre.**

Dans un espace extérieur, le milieu n'est pas réverbérant, il est admis que les sons sont généralement directs (champ direct) et avec une réflexion faible. Dans le cas particulier d'obstacles (montagnes, murs...) la réflexion peut se faire avec un fort délai, ce qui donne un écho (les amphithéâtres grecs, Delphes, ont pris en compte ce phénomène pour la conception du site...).



L'Homme ne perçoit plus sa voix clairement par la réflexion du sol, mais peut différencier sa nature : (absorbant = moquette) ou (réfléchissant = carrelage).

Fig B-28 : L'évolution spatiale de la voix suite à l'évolution. (ref LAG 13)

- **La réverbération ou « effet de salle »**

Dans un endroit clos, les stimuli sonores proviennent directement de la source (**champ direct**), des réflexions (**champ diffus**) des diverses parois et présentent aux auditeurs un ensemble de directions, d'amplitudes, de telle sorte qu'ils constituent ainsi un espace véritablement tridimensionnel. Au cours de sa propagation dans l'air, un son subit une atténuation géométrique (répartition de l'énergie sonore par unité de surface) et une atténuation par dissipation atmosphérique. **La perception des sensations sonores (notamment la sensation de distance) de cet espace est ainsi plus liée à « l'effet de salle » qu'à une localisation précise des sources.**

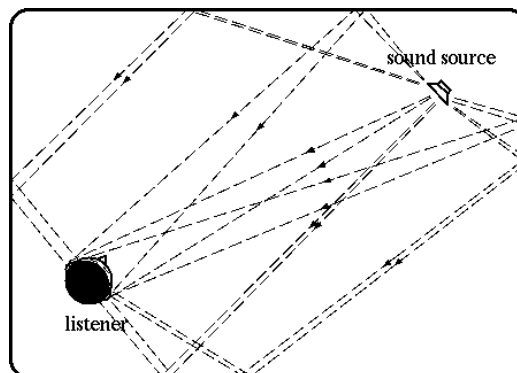


Fig B-29 : Illustration de « l'effet de salle »

Helmut Haas a découvert que le système auditif analyse uniquement le son direct qui est arrivé le premier, pour la localisation du son. (loi du premier front d'onde³⁷ ou « effet de Haas »). Cette spatialisation est confirmée tant que la source sonore est stabilisée (« effet de Franssen³⁸ »).

³⁷ Effet de Franssen : Le système auditif analyse les variations d'intensité sonore dans différentes bandes critiques, et également la stabilité de la direction perçue.

J Acoust Soc Am. 1997, *The relationship between localization and the Franssen effect*, Parmlly Hearing Institute, Loyola University Chicago, Illinois 60626, USA

³⁷ **Rappel Loi du premier front d'onde sonore** : Lorsque deux sources sonores fixes et identiques, mais non simultanées, sont entendues. Si la différence temporelle entre les deux sources n'est pas supérieure à 37 millisecondes (ms), notre système auditif interprétera la direction du phénomène acoustique comme étant celle de la première source entendue. Soulignons ici qu'il s'agit bien d'un procédé d'interprétation mentale, lié à une résolution physiologique, indépendant de la différence interaurale de temps. Le système nerveux regroupe toutes les premières réflexions en un seul ensemble perceptif permettant au cerveau de traiter plusieurs sons à la fois. Le système nerveux va combiner les réflexions qui sont à environ 35 millisecondes de l'autre et qui ont une intensité similaire. (Alain Goyé, *La perception auditive, Cours de psychoacoustique de l'Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications de Paris*)





Fig B-30

b. Les indices de localisation directionnelle azimuthale : Duplex Theory – Rayleigh (1907)³⁹

Ces indices sont fondés essentiellement sur la comparaison des informations de phase, de temps (ITD : **Interaural Time Difference**) et d'intensité (ILD : **Interaural Level Difference**) créés au niveau des deux oreilles (Ipsilatérale et contralatérale) par le champ acoustique.

- **La différence interaurale de temps d'arrivée (ou ITD Temps ou Phase) :** La distance entre les deux oreilles, en contournant la tête, est le facteur physique principalement responsable de la différence de temps de captation par les oreilles d'un son donné (attention à ne pas confondre avec la loi du premier front acoustique³⁷). Cette différence temporelle variera selon l'azimut de la source sonore qui est à son maximum à l'azimut 90° ou 270°.

La différence de temps ou de phase, deux phénomènes liés :

La différence interaurale de temps aura un impact plus ou moins important dans la qualité de la localisation selon l'enveloppe du son et les fréquences qui le composent.

L'influence de l'enveloppe :

- Pour les sons ayant des attaques rapides, la différence de temps (ITD Interaural Time Difference) peut être directement interprétée pour la localisation spatiale.
- Pour le son continu ou avec attaque lente, c'est la différence de phase (ou IPD Interaural phase Difference), conséquente à la différence de temps, qui sera interprétée pour localiser les sons. Il a été remarqué que seulement les différences de phase variant entre 0° et 180° peuvent être interprétées adéquatement. (Woodworth (1938))

Pour Boerger (1965) la sensibilité au décalage des enveloppes est de plus en plus forte à mesure que la fréquence augmente, et semble prendre le relais de déphasage aux voisinages de 1500Hz.

Plusieurs travaux de recherche ont montré que :

- La valeur maximale de l'ITD augmente avec la taille de la tête
- Plus la valeur de l'ITD est élevée, plus la localisation spatiale de la source dans le plan horizontal est meilleure
- Dans le plan horizontal, la précision de localisation angulaire varie avec l'azimut ; elle est maximale dans l'axe et qu'elle décroît graduellement lorsqu'on s'en éloigne.
- Pour des fréquences inférieures à 775 Hz, l'IPD est compris entre 0° et 180°
- Pour des fréquences comprises entre 775 et 1550 Hz, l'IPD est compris entre 180 et 360°
- Pour des fréquences supérieures à 1550 Hz, l'IPD est supérieur à 360° (Mohammed ElIiq et Alain Delhaise « 1 Son, 2 Oreilles et 3 Dimensions ! » , Réalisation n°72 –mars-avril 2013)

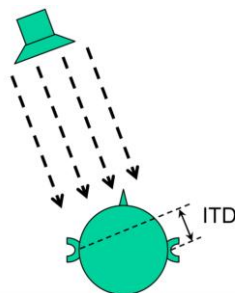


Fig B-31 (ref CAN 07)
Schéma ITD : Pour les sons avec attaques rapides (impulsions), c'est la différence de temps interaurale qui entre en jeux.

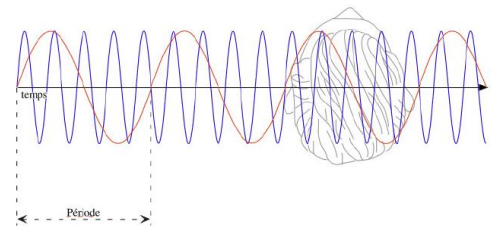


Fig B-32 (ref CAN 07)

Schéma IPD : Pour les sons continus, c'est la différence de phase qui entre en jeux. L'évaluation des différences de phase interaurales est utile, tant qu'il donne des résultats sans ambiguïté (distance entre les deux oreilles est plus petite que la moitié de la longueur d'onde).

³⁹ Brice cannavo« Pour un Théâtre de l'Obscurité », Mémoire de fin d'étude dirigé par Marie-Jeanne Wyckmans, 2007, p8 -11

Les travaux de recherche ont montré que :

- Les valeurs de l'ILD sont faibles pour les fréquences basses
- Les valeurs de l'ILD sont plus importantes pour les fréquences élevées ;
- Pour les azimuts compris entre 0° et 50°, les valeurs de l'ILD croissent régulièrement avec l'azimut
- Les valeurs maximales de l'ILD sont atteintes pour l'azimut 60° et non pas 90°
- Pour des azimuts compris entre 120° et 180°, les valeurs de l'ILD diminuent régulièrement avec l'azimut.

(Mohammed Elliq et Alain Delhaise « 1 Son, 2 Oreilles et 3 Dimensions ! » , Réalisation n°72 –mars-avril 2013)

Rappel loi acoustique :

$$\lambda = C/F$$

Avec λ (Lambda) en mètres

C (célérité) en m/s (340 m/s pour l'air)

F la fréquence en Hertz

Fréquence Longueur d'onde

1000 Hz => 0.34 m

1600 Hz => 0.21 m

- **La différence interaurale d'amplitude ou niveau de l'onde sonore (ou ILD Interaural level Difference) :** La différence d'intensité entre les deux oreilles est due essentiellement à la tête qui diffracte la vibration acoustique avant qu'elle atteigne l'oreille située du côté opposé à la source. « l'ombre acoustique » que produit la tête, dépendant de la fréquence du son, **elle est négligeable en dessous 1000 Hz** mais peut atteindre 20 dB à 6000 Hz aux azimuts 90° et 270°. Complémentaire de l'ITD, plus l'ILD est grande, plus la source semble latéralisée. Il existe une grande variabilité interindividuelle quant à la détermination expérimentale de la différence de niveau.

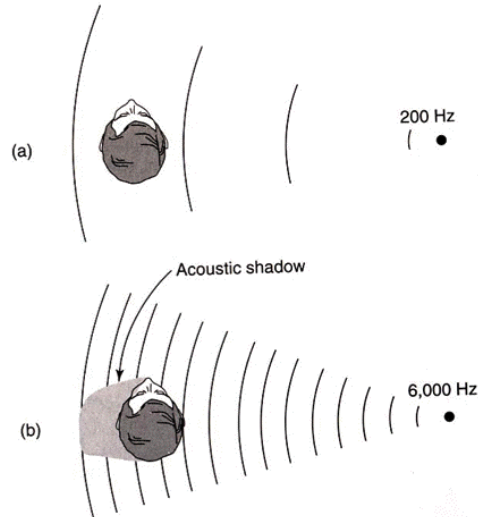


Fig B-33 (ref CAN 07)
Illustration de l'ombre acoustique

L'IMPORTANCE DE LA FREQUENCE POUR LA LOCALISATION DIRECTIONNELLE AZIMUTALE :

En dessous de 80Hz : la différence de temps (ITD, IPD) ou de niveau est inefficace pour la localisation azimutale.

Inférieures à 800Hz : les différences de phase, IPD sont principalement évaluées (sons continus).

Entre 800Hz et 1600Hz, se trouve une zone de transition, où l'ITD, IPD et l'ILD jouent. l'efficacité de la différence interaurale de temps ITD décroît rapidement, pour devenir complètement inutile.

Pour les fréquences supérieures à 1600Hz, la différence par niveau ILD est la plus efficace.

- **Les limites de la théorie Duplex :**

Une limitation de la théorie duplex est que la théorie n'explique pas complètement l'audition directionnelle, **aucune explication n'est donnée pour la capacité de distinguer entre une source sonore directement devant et derrière**. Pour la différence interaurale de temps et la différence interaurale de niveau, la différence est nulle quand la source sera située aux azimuts 0° et 180° (devant/derrrière) et elle est la même pour toute direction située sur un cône dont l'axe de symétrie est confondue avec l'axe des oreilles (cône de confusion¹). L'approfondissement de cette théorie a ainsi permis de mettre en évidence le rôle des pavillons externes (indices monoraux) pour les zones portant confusion. De plus la théorie ne prend pas en compte les mouvements de tête de l'auditeur qui ont pour but d'affiner la localisation.

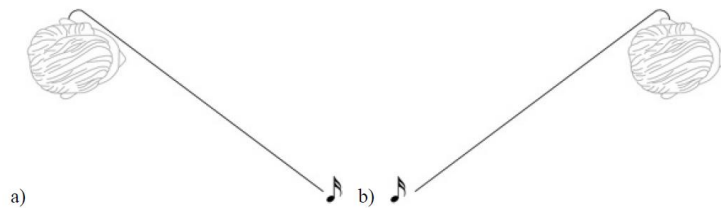


Fig B-34 : Confusion possible de localisation avant-arrière (mêmes ITD et ILD)
(ref CAN 07)

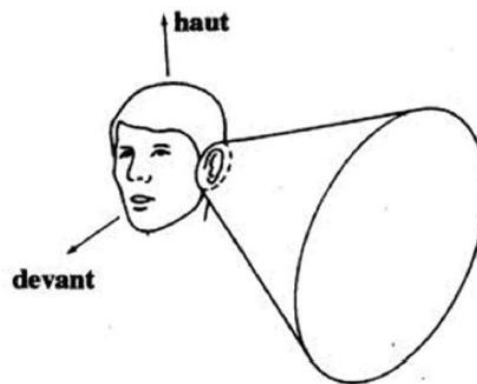


Fig B-35 : Le cône de confusion : Von Hornbostel et Wertheimer (1920) modélisent la tête comme une sphère acoustiquement opaque. Avec ce modèle, la différence temporelle interaurale d'un signal acoustique est équivalente pour tous les points situés sur un cône.
(ref CAN 07)

c. Les mécanismes de localisation directionnelle en élévation.

Les indices spectraux : Le terme indices spectraux désigne « les modifications fréquentielles apportées au spectre d'une source sonore par le filtrage opéré par les réflexions sur les différentes parties du corps de l'auditeur »⁴². L'association du pavillon et du conduit auditif peut être associée à un ensemble de résonateurs. « L'oreille se comporte comme une antenne acoustique : le pavillon (associé au volume crânien) diffracte les ondes, le conduit auditif externe et la conque jouent un rôle de résonateur. »⁴⁰

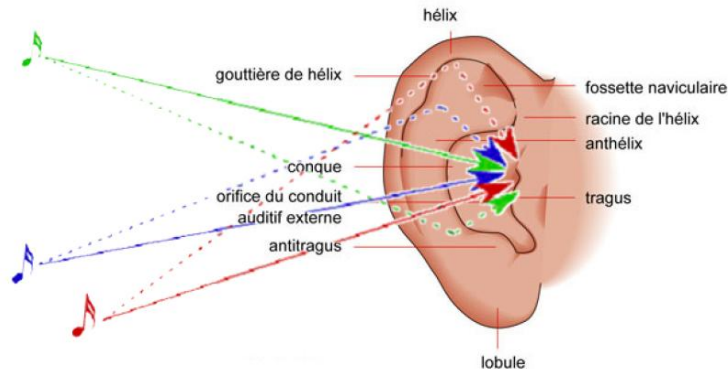


Fig B-36 : Description de l'oreille externe (ref CAN 07)

Le rôle du pavillon conduit le signal au tympan⁴⁴ par son direct, mais aussi par diffraction et résonance⁴¹. Celui-ci venant principalement par le frontal. La fréquence remarquable étant autour des 4 kHz.

Le rôle du tragus est celui d'un réflecteur⁴⁴ qui transmet le signal principalement dorsal en élévation au tympan (de préférence de large bande avec une fréquence remarquable autour de 8kHz).

Une localisation en deux temps : Le dosage des résonances internes (conduit auditif) par le cerveau, permet une première approximation de la source sonore (mémoire cognition auditive). Puis les réflexions liées aux pavillons entraînent des retards qui en se mélangeant au signal direct occasionnent un filtre en peigne. **Ces modifications de fréquences étant interprétées par « cognition auditive » et « dé-convolution » comme paramètres de localisation.**

Les travaux de recherche ont montré que :

-Les modifications spectrales apportées par le torse, les épaules, la tête et les oreilles externes, qui sont basés sur les phénomènes de réflexion, de diffraction, et d'absorption, dépendent de la direction de la source.⁴¹

-Les modifications spectrales apportées par les pavillons et les conduits auditifs des deux oreilles, qui sont basées sur des phénomènes de résonance, ne dépendent pas de la direction de la source.⁴¹

-Le couplage source sonore / pavillon de l'oreille étant un système interférentiel, le moindre changement de position de la source sonore modifie les indices spectraux.⁴²

-Contrairement aux ILD et ITD, les signaux de localisation spectrales sont générées en mono.⁴³

-Il existe aussi la différence interaurale de spectre (ISD pour Interaural Spectral Difference) utilise les deux oreilles afin d'améliorer la localisation mais n'est pas suffisante à lui seul.

⁴¹ (Mohammed Elliq et Alain Delhaise « 1 Son, 2 Oreilles et 3 Dimensions ! » , Réalisation n°72 –mars-avril 2013)

⁴²Sylvain Busson ,« Individualisation d'indices acoustiques pour la synthèse binaurale » Université de la méditerranée Aix-Marseille II, Ecole Doctorale de MECANIQUE, PHYSIQUE ET MODELISATION, 2006

⁴³Marcel Dekker ,Hearing: An introduction to psychological and physiological acoustics. 2nd edition. New York and Basel: Marcel Dekker, Inc. Gelfand S A., 2004.

⁴⁰ Brice cannavo« Pour un Théâtre de l'Obscurité », Mémoire de fin d'étude dirigé par Marie-Jeanne Wyckmans,2007, p14-15 – informations confirmées par Mathieu AUSSEL (ingénieur son à DMS).

⁴⁴Blauert, J., Spatial Hearing. The mit press edition, 1983

Les artéfacts liés aux indices spectraux :

L'enregistrement binaural, facilement réalisable, a été étudié depuis les années 30. Si le défaut d'indice spectral induit une spatialisation différente suivant les individus (chacun ayant une forme de tête et d'oreille externe différente), il y a néanmoins une appréhension globale de cet espace qui se singularise en premier par une absence de son venant de l'espace frontal. Si un son frontal existe, il est perçu comme venant du haut (ex à écouter « speed daemon » de M. Jackson). Le schéma ci-dessous matérialise bien le chemin sonore perçu lorsqu'un objet sonore parcourt l'espace dans le plan horizontal.

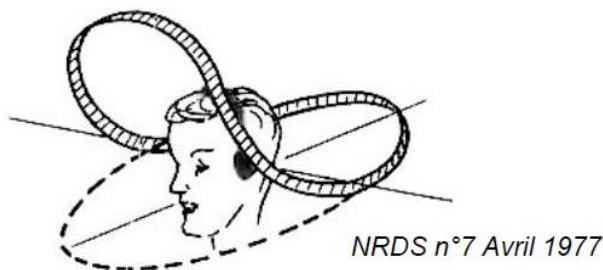


Fig B-37: la perception de l'espace binaural (« La nouvelle revue du son », 1977.)

Les défauts de localisation liés aux indices monoraux peuvent se ressentir par :

- Une confusion avant/arrière
- Une localisation du son intra-crânienne
- Une distorsion de la localisation en élévation
- Une absence de champ frontal

La connaissance de ces artéfacts est intimement liée à notre perception psycho-auditive individuelle. **C'est l'évolution de cette perception, par l'adjonction d'un stimulus « image » qui est attendu dans l'étude de ce mémoire.**

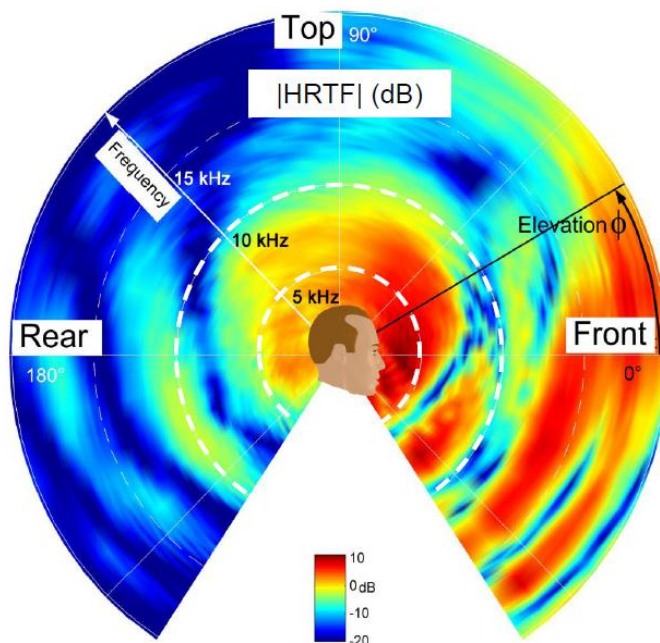
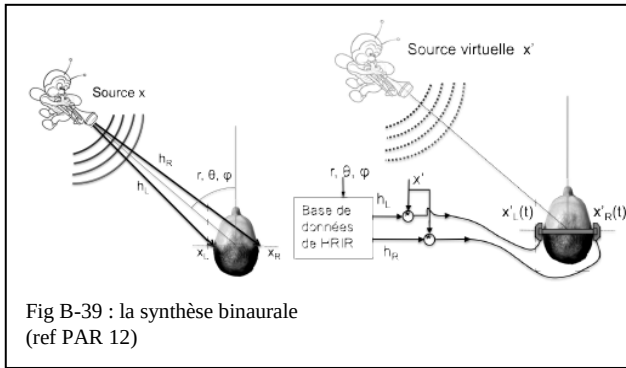


Fig.B-38 Sur cette image on voit très bien l'action principale des indices monoraux (en rouge). (source Orange Labs réf ORA 13)

d. les HRTF - Head Related Transfert Function



Les ondes acoustiques se caractérisent par des modifications en niveaux et phases par propagation du milieu extérieur jusqu'au tympan. « Ces modifications (particulières à chaque fréquence et à chaque angle d'incidence des ondes sonores) correspondent à la fonction de transfert de l'oreille externe et sont un paramètre capital dans la localisation d'une source sonore. »⁴⁵ **La synthèse binaurale, en utilisant une technique de filtrage monophonique (les filtres HRTF : Head-Related Transfer Functions), permet de spatialiser une source sonore sans le passage par l'enregistrement binaural. Les HRTF contiennent tous les indices nécessaires à la localisation et sont propres à chaque individu.**

Les différentes techniques d'individualisation des HRTF se heurtent à un problème complexe : comment faire le lien entre la géométrie des différentes parties du corps (propres à chaque individu) et les modifications spectrales qu'elles engendrent ?

Plusieurs techniques sont proposées⁴⁶:

- Jeu de HRTF "proches" : les HRTF sont principalement déterminées par la morphologie de l'auditeur. Les caractéristiques morphologiques de l'auditeur sont mesurées et sont comparées à celles associées aux HRTF stockées dans une base de données. **Les HRTF les plus proches, au sens de la morphologie, sont alors sélectionnées pour cet auditeur.**
- Adaptation de HRTF : les distances inter-individuelles peuvent être réduites par une dilatation fréquentielle des HRTF. Une correspondance entre facteur de dilatation optimal et paramètres morphologiques peut être trouvée afin **d'adapter les HRTF d'un mannequin artificiel, par exemple, à n'importe quel auditeur.**
- Choix de HRTF : Plusieurs jeux de HRTF sont proposés et l'auditeur choisit celles qui lui conviennent le mieux. Cette procédure peut aussi être appliquée pour le choix du coefficient de dilatation fréquentielle.
- Construction de HRTF : les techniques numériques de modélisation physique permettent une estimation des HRTF par le biais d'une représentation physique de l'auditeur.



Fig B-40 : Systèmes de mesures HRTF (source Orange Labs réf ORA 13)

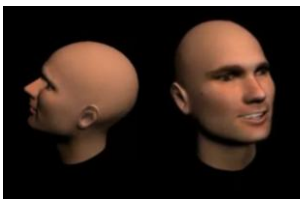


Fig B-41 : Modélisation de ma tête en 3D D'autres approches hybrides peuvent être réalisées. L'idée du binaumaton s'inspire du photomaton pour offrir à n'importe quel auditeur ses HRTF individualisées à partir de sa morphologie identifiée d'après des prises de vues. Cette idée a fait l'objet d'un dépôt de brevet (FR 03 02467).

L'obtention de filtres HRTF adaptés à un auditeur est une démarche longue et coûteuse. De plus Sylvain Busson, dans sa thèse sur les HRTF, note les difficultés de la reproductibilité des mesures et une certaine efficacité des HRTF synthétisées sur celles mesurées.

⁴⁵ Sylvain Busson, « Individualisation d'indices acoustiques pour la synthèse binaurale » Université de la méditerranée Aix-Marseille II, 2006, p15

⁴⁶ Orange Labs R et D, Séminaire audio 3D, 2013

e. Les mécanismes de la localisation de distance.

L'estimation des distances fait appel à des perceptions (non quantifiables) pondérée par des indices acoustiques. Les perceptions telles que la vue ⁴⁷, les influences proprioceptives ⁴⁸ et la cognition auditive fonctionnant conjointement. Ainsi la mémoire auditive par la comparaison des sources sonores permet d'estimer des distances (par ex les avions et oiseaux sont connus mais la qualité ou typologie du signal joue aussi).

Les indices acoustiques d'éloignement se caractérisent par :

L'atténuation géométrique (*indice relatif*) : Elle dépend des conditions atmosphériques et agit sur les fréquences (absorption des hautes fréquences pour distance supérieures 15m).

La réverbération (*indice absolu*): ⁵⁰ Le rapport entre le champ réverbéré et le champ direct indique de manière absolue la distance de l'observateur à la source sonore (la précision de cette valeur étant dépendante de l'indice de réverbération de la salle).

Les variations d'intensité (*indice relatif*) : ⁴⁹ Lorsque la distance source/observateur est doublée, le niveau d'intensité de la source subit une atténuation de 6 dB (pour des distances supérieures à 1 m).

Les indices ITD et ILD (*indice absolu*): ⁵¹ Pour des distances inférieures au mètre, ils entrent en jeu pour l'évaluation des distances de la source.

L'évolution dynamique (*indice absolu*): ⁵² l'évolution de la parallaxe des indices pré-cité indique aussi une estimation de la distance lorsque la source est en mouvement (l'effet doppler est négligeable dans ce cas).

⁴⁷ Recanzone, Rapidly induced auditory plasticity : the ventriloquism aftereffect. Natl Acad Sci U S A, 1998 p:869–875

⁴⁸ Majdak, P., The accuracy of localizing virtual sound sources : Effects of pointing method and visual environment. In Proc. of the 124th AES Convention, NL–Amsterdam, 2008.

⁴⁹ Coleman, An analysis of cues to auditory depth perception in free space. Psychological Bulletin, 1963p 302–315.

⁵⁰ von Békésy, G. (1960). Experiments in hearing. McGraw-Hill Book Compagny.

⁵¹ Shinn-Cunningham, B. G., Santarelli, S. et Kopco, N. Tori of confusion : Binaural localization cues for sources within reach of a listener.,J. Acoust. Soc. Am.,2000,p 1627–1636.

⁵² Rosenblum, L., Carello, C. et Pastore, R. (1987). Relative effectiveness of three stimulus variables for locating a moving sound source. Perception, 16(2):175–186

f. le cas spécifique des battements binauraux « psychiques »

Le principe des battements binauraux : « Ce sont des sons écoutés à l'aide d'un casque stéréophonique dont la fréquence diffère d'une oreille à l'autre (contenu sonore identique mais tonalités différentes). Les signaux binauraux furent observés pour la première fois par le scientifique allemand H.W. Dove en 1839. C'est cependant Le docteur Gérald Oster qui fut le premier en 1973 à mettre en évidence l'effet de ce type de sons sur les ondes corticales dans le contexte d'une recherche sur l'acuité auditive ; c'est également lui qui les a nommés « sons binauraux ». ⁵³

Des études ⁵⁴ tendent à montrer l'influence des battements binauraux sur l'état de conscience, la physiologie et les performances intellectuelles de l'auditeur. L'électro-encéphalogramme montre que le cerveau travaille sur 4 fréquences principales au cours de la journée :

- **Delta (0,5 à 4 Hz)**. Cette fréquence est normalement générée en sommeil profond, ou lorsque l'on est inconscient.
- **Thêta (4 à 8 Hz)**. C'est l'intervalle entre le sommeil et l'éveil, état des rêves et hallucinations.
- **Alpha (8 à 13 Hz)**. Celui-ci est produit lorsque vous êtes réveillés et pleinement conscient.
- **Beta (13 à 30 Hz)**. Il est généré lorsque vous résolvez des problèmes, tels que des calculs mentaux, avec une intention maximum.

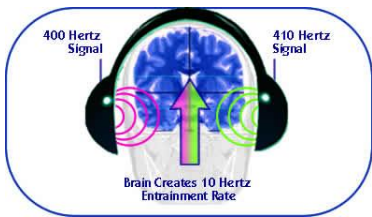


Fig B-42: Schéma des battements binauraux
<http://www.brainev.com/core/>

Des applications informatiques pour générer les battements:

Depuis quelques années il existe des logiciels qui permettent de créer ses propres programmes d'entraînement cérébral. Les plus connus sont le Brain Wave Generator (BWGen), le Neuro-Programmer (NP2). Il a été mis au point (ex société EMOTIV Epoc) des casques permettant d'avoir un retour sur ces effets suggérés.

L'intégration des battements binauraux dans les jeux vidéo : Les battements binauraux peuvent activement participer à la mise en condition du joueur. Ils peuvent aussi être utilisés pour plonger le joueur dans des états particuliers en correspondance avec l'univers et l'action du jeu, et ainsi participer à la recherche d'immersion totale, à l'impression de réel qui se dégage des supports audiovisuel. **Le couplage avec un casque « neurofeedback » permettant non seulement de commander le jeu mais aussi de connaître l'état émotionnel du joueur...**



Fig B-43 Jeu-vidéo fonctionnent par retour casque « bioneurofeedback » des ondes cérébrales.

Dans le cadre de ce mémoire et de la caractérisation de l'espace binaural-image, il ne sera pas généré de battements binauraux car non directement liés à l'image...

⁵³ Sullivan, W.E. (1986). Neural map of interaural phase difference in the owl's brainstem. Proc. Atl. Académie des Sciences USA, Vol 83

⁵⁴ Forgeot, B , Les sons binauraux : effets cliniques et neuropsychologiques, Perspectives d'applications, UFR PSYCHOLOGIE, PRATIQUES CLINIQUES ET SOCIALES, UNIVERSITE PARIS VIII, 2006

C. ● ETABLISSEMENT DES CRITERES QUALITATIFS DE L'ESPACE « BINAURAL-IMAGE » :

Le chapitre précédent nous a permis de lister tous les paramètres, les stimuli, auxquels un auditeur est soumis pour une écoute audiovisuelle (son +image) dans un environnement plus ou moins contrôlé (champs libre ou clos). Tout en ayant connaissances de ces indices, nous pouvons maintenant établir dans ce chapitre la liste qualitative des critères d'évaluation de l'espace audiovisuel singulier« binaural-image ». Ces critères auront pour base une vision statistique dans une approche phénoménologique.

I. Pour une approche phénoménologique de l'espace « binaural – image » : *Un espace sonore s'éprouve !*

« Pour la phénoménologie le son apparaît, c'est-à-dire existe, à partir du moment où il est visé par l'**intentionnalité de l'auditeur**. Il ne devient son que par et pour une audition. **Le son s'assimile à la sensation**. Ainsi deux personnes ne peuvent entendre le même son, celui-ci étant essentiellement subjectif »⁵⁵...L'espace « binaural – image » fait ainsi appel à de nombreuses notions physiques et cognitives, telles qu'appréhender précédemment (proprioception). Cette complexité « physiologique-psychologique », non immédiatement accessible et non quantifiable par des indices physiologiques simples donne ainsi tout son sens à une approche phénoménologique de la perception sonore. Comme le note François Bonnet⁵⁵ « Appréhender le son est une entreprise disparate, c'est être soi, soi et **sa perception, comme un continent bordé de toute part par l'océan**, multiplicité perceptive contre multiplicité perçue ». Tout notre organisme est sollicité par divers stimuli et c'est bien leurs interactions qui rend difficiles toute étude...Si nos perceptions, ne peuvent être quantifiées en valeurs absolus, elles peuvent être néanmoins aisément comparées. Et dans ce cas l'étude comparative est pertinente, d'autant plus que la précision obtenue peut être importante et fiable (par exemple la mesure de luminosité des étoiles variables se réalise par comparaisons visuelles, et rivalise avec les photomètres !). Pour Helmholtz, les impressions qui servent à nous former des représentations des objets extérieurs sont des perceptions tandis que les impressions qui apparaissent dans des états particuliers de notre corps sont qualifiées de sensations⁵⁶.

⁵⁵ François J. Bonnet, « les mots et les sons, un archipel sonore », éditions de l'éclat, p65, 2012.

⁵⁶ Herman von Helmholtz, « Théorie physiologique de la musique, fondée sur l'étude des sensations auditives », Paris, Masson et fils, 1868

II. Détermination de la posture et de l'environnement d'écoute

a. La posture du « spectateur-auditeur » :

« Lorsque l'écoute est dirigée vers l'apaisement du fantasme, elle devient très vite hallucinée : je crois réellement entendre ce qu'il me ferait plaisir d'entendre comme promesse du plaisir ». Roland Barthes, « Ecoute »,⁵⁷

A la base de l'écoute il y a un désir, et c'est à partir de ce désir, cette recherche de sens que l'auditeur se bâtit une stratégie d'écoute. Ainsi l'intention d'écoute de l'auditeur est une approche essentielle pour l'établissement des critères de qualité de l'espace audiovisuel. La focalisation, écoute singulière de l'espace sonore binaural, fonctionnant comme un *vouloir entendre*, met alors l'auditeur-spectateur dans un état d'autosuggestion, moment où l'on croit entendre ce qu'il fait plaisir d'entendre.

La démarche pour ce test a donc été d'influencer au minimum les personnes choisies, en ne donnant que la seule information d'une étude sur le « son naturel ». Ainsi ayant pour objectif de montrer l'influence de l'image sur l'espace sonore, le test se déroulera en deux temps : le film test sera présenté une première fois avec la bande son seule (l'expérience acousmatique de Pythagore !) ⁵⁸ puis une seconde fois avec le visionnage du film. La physiologie humaine nous montre, en effet, que nos sens sont très précis dans le cadre d'une comparaison et très peu pour la mesure d'une valeur absolue. Cet ordre de passage est important, le son seul apportant cet espace « fantasmagorique » ⁵⁹ que le visuel va rendre « tangible » à la deuxième vision. Ceci est très sensible sur le film des « instruments » où l'écoute aveugle fait plus penser à un chantier qu'à une symphonie de « musique concrète » ! La posture d'écoute de l'auditeur pouvant ainsi évoluer.

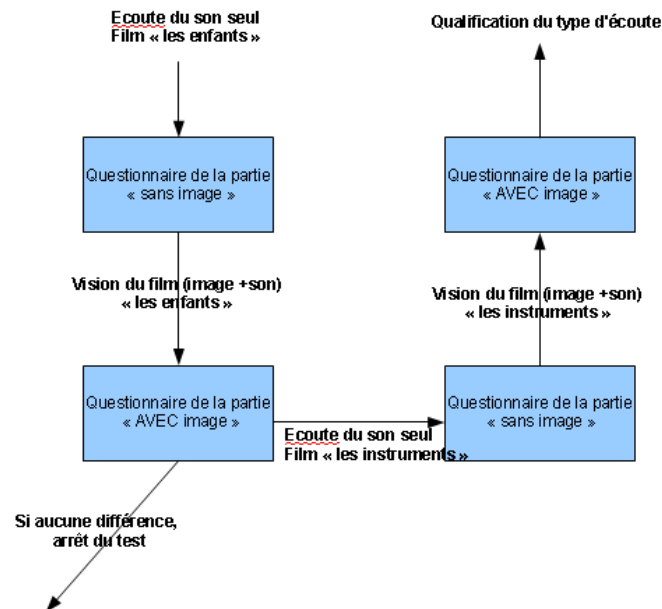


Fig C-44 : Schéma du processus du déroulement du test d'écoute.

⁵⁷ Roland Barthes, « Ecoute », p219

⁵⁸ Pythagore (VI^e siècle av. J.-C.) invente un dispositif original d'écoute attentive, en se plaçant derrière un rideau pour enseigner à ses disciples, dans le noir, et dans le silence le plus total. « Acousmatique » est le mot qu'il emploie pour désigner cette situation –et les disciples mêmes qui développent ainsi leur technique de concentration. On sait que ce philosophe, mathématicien et musicien, n'a laissé aucune œuvre écrite.

⁵⁹ François J. Bonnet, « les mots et les sons, un archipel sonore », éditions de l'éclat, p65, 2012

b. L'environnement du « spectateur-auditeur » :

Le lieu de l'écoute du test a une influence non négligeable sur la restitution. Les différents stimuli interfèrent avec le son du casque, l'impact visuel. De plus la réception sonore n'étant pas le fait que de la seule réception aérienne des tympanes mais aussi par celle de tout le corps (ostéophonie), l'interaction avec l'environnement immédiat (sons du métro, divers moyens de transports...) doit être prise en compte pour la mise en place du test.

Jean-Paul Thibaud ⁶⁰ tente de définir « l'ambiance sonore » d'un espace avec une approche phénoménologique :

- « L'ambiance enveloppe » l'écoute nous met d'emblée en contact avec la globalité d'une situation et introduit la spatialité.
- « L'ambiance intègre ». Elle peut être définie en termes d'un tout cohérent les diverses composantes de nos sens (vue, ouïe, odeurs...)
- « L'ambiance s'éprouve » l'ambiance est ressentie avant d'être pensée, elle est affective...
- « L'ambiance s'installe », il convient de rendre compte de la manière dont elle émerge, se développe et se module dans le temps.
- « L'ambiance relie », Selon l'état d'une ambiance à un moment donné, la situation peut être plus ou moins tendue ou relâchée (aspect psychique des battements binauraux).
- « L'ambiance stimule », Elle peut être définie en termes de sollicitation motrice qui met le corps dans un certain état de tension et mobilise notre capacité à agir.

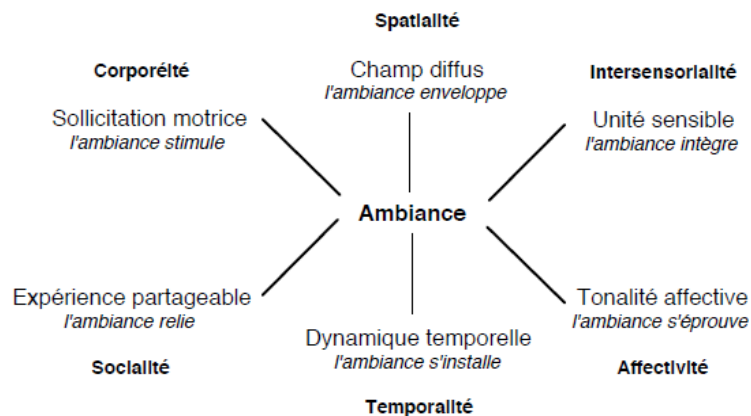


Fig C-45 : définition de d'ambiance d'un lieu (ref THI 07)

⁶⁰ Jean-Paul Thibaud ,Centre de Recherche sur l'Espace Sonore et l'Environnement Urbain, Variations d'ambiances et processus et modalités d'émergence des ambiances urbaines, pp14-15, 2007

L'espace binaural/image « nomade » en ayant des aller-retour permanents avec l'environnement immédiat, « s'éprouve » et « relie ». Et c'est là tout l'enjeu des écoutes en binaural-nomade. En effet c'est bien notre place dans le monde, notre « conscience augmentée » et ses interactions avec notre corps, dont il est question ici ! Le déroulement du test se pratiquera, par conséquent, dans divers environnements nomades, essentiellement pendant des trajets de transports (métro, voiture, train...). L'intérêt n'étant peut être pas, comme c'est le cas pour les jeux vidéo, d'avoir un environnement le plus immersif possible, (un isolement maximal au monde), mais au contraire de prendre conscience de notre place dans le monde en pratiquant l'état de « pleine conscience »⁶¹ provoqué par l'espace sonore binaural.

Des artistes sonores comme Stéphane MARIN (compagnie « Espaces sonores ») utilisent notamment l'environnement extérieure comme mixage « augmenté ». Ainsi l'environnement sonore direct (soit par ostéophonie ou l'utilisation d'un casque semi-ouvert) modifie notre perception du programme visionné.



Fig C-46 : L'artiste sonore Stéphane Marin utilise l'environnement sonore pour des états de consciences augmentés...

⁶¹ l'état de pleine conscience selon Jean-Gérard Bloch : « Il s'agit simplement de développer dans la vie quotidienne des capacités naturelles d'attention. Cela peut s'inscrire dans une hygiène de vie, un art de vivre mais nécessite un entraînement. Notre esprit est rarement dans l'instant présent. »

III. Le public testé.

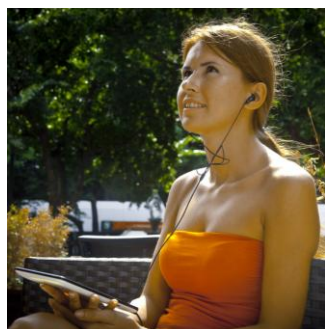


Fig C-47: L'écoute nomade dans un espace « ouvert » par Marianna

Les personnes sélectionnées sont le fruit du hasard des rencontres, des circonstances et des disponibilités. La plupart du temps c'est lors de voyages en train ou voiture que j'ai sollicité les futurs candidats. Dans une volonté de ne pas orienter les réponses, je n'ai exprimé que le souhait de réaliser un exercice « d'écoute » dans le cadre d'une étude en ne mentionnant pas le son binaural. Il n'y a eu que très peu de refus... Le panel fut très disparate en ce qui concerne l'âge (de 20 à 65 ans) et les différences culturelles (tous les milieux). Globalement, les auditeurs qui appartiennent au monde de l'audio utilisent un vocabulaire assez précis et explicite, mais pour les autres il a fallu expliquer le vocabulaire des questions, et souvent lors de la deuxième écoute, les questions semblaient plus claires et les personnes ont alors modifié leurs premières impressions.

Afin de déterminer la sensibilisation à l'écoute ou non de la personne testée, une désynchronisation de 40ms (soit une image, ce qui correspond environ à la durée de résolution sonore humaine) a été introduite dans le film sur « les instruments ». La mise en évidence par l'auditeur-spectateur de cette désynchronisation (facilement détectable lorsqu'il y a des battements de tambour) validant la question de la sensibilisation à l'écoute. L'importance de cette question, était de montrer que l'auditeur-spectateur avait mise en place une stratégie d'écoute appropriée.

Les attentes du public dans le cadre d'une écoute multicanale ont été analysées dans l'étude de Vincent Villetard ⁶² avec ses travaux comparatifs d'enregistrement en multicanal. Il a en effet, réalisé par sondage (sur un panel représentatif de 400 personnes) une analyse qualitative et quantitative des réceptions d'auditeurs.

Il en a sorti les critères suivant par ordre décroissant d'intérêt...

1. Equilibre entre les voies avant et arrière
2. Justesse de la localisation
3. Présence de sources fantômes sur les côtés
4. Précision de la localisation
5. Qualité de timbre
6. Définition
7. Oubli des haut-parleurs en tant que sources discrètes
8. Sensation d'enveloppement
9. Sensation de naturel
10. Stabilité des sources
11. Homogénéité

Il convient néanmoins de signaler que cette étude a été réalisée avec un objet musical enveloppant l'espace tout autour de l'auditeur et ne faisant aucunement appel à l'image. Bien que le stimulus de la vision n'a pas été pris en compte, il a été considéré ces critères comme une base de travail acceptable pour l'élaboration de fiches de restitutions de l'espace binaural/image.

⁶² Vincent VILLETARD « COMPARAISON DE SYSTEMES DE PRISE DE SON MULTICANAUX », Conservatoire National Supérieur de Musique et de Danse de Paris ,2001

IV. La sémantique du questionnaire.

La difficulté pour établir les critères est de trouver une sémantique suffisamment significative et précise pour exprimer des sensations et perceptions plus ou moins diffuses. Les questions ont été définies suivant les intérêts et attentes de l'auditeur-spectateur⁶¹ et des indices physico-psychiques définis précédemment. **Mais quel que soit la qualité des questions, il ne faut pas oublier que l'espace-sonore sensible s'éprouve !**

- **Critères qualitatifs :**

Le critère de la personne testée : « *personne sensibilisée à l'écoute* »

Celui-ci est estimé par moi-même suivant la qualité des remarques et la réponse au synchronisme de la question 11.

Les treize questions retenues :

1. **Equilibre entre les voies avant et arrière (critère de perception):** l'équilibre entre l'avant et arrière vous semble-t-il bon ou déséquilibré (cela peut être au profit de l'arrière ou de l'avant)
2. **Sources sur les côtés (critère de perception):** percevez-vous des sources extra-crâniennes sur les côtés ou non
3. **Impression d'enveloppement (critère de sensation):** vous sentez-vous enveloppé par le son (sensation d'être au centre du chœur) ou non ?
4. **Impression d'homogénéité (critère de sensation):** l'image sonore vous semble-t-elle homogène ou déséquilibrée au profit de certaines zones angulaires ?
5. **Impression de naturel (critère de sensation):** l'image sonore vous paraît-elle naturelle ou non ?
6. **Précision de localisation (critère de perception) :** localisez-vous de façon précise ou diffusent les Sources ?
7. **Stabilité de localisation (critère de perception):** la localisation des sources vous semble-t-elle stable ou instable ?
8. **Timbre (critère de sensation):** le timbre vous semble-t-il réaliste et agréable ou non ?
9. **Définition (critère de sensation):** la définition du son vous paraît-il précis ou confus ?
10. **Dans quel état vous sentez Vous ? (critère de sensation):** Anxieux, plénitude, éveil, endormissement...
11. **l'image/son semblent t'ils synchrones ? (critère de perception):**
12. **Vous sentez-vous en décrochage par rapport à l'image ? (critère de sensation):**
13. **Trois mots pour décrire vos sensations ? (critère de sensation):**

Critères quantitatifs (pondérations) :

Les différents critères seront estimés sur une échelle de 1 à 5 du -- au ++ afin de pouvoir quantifier et établir des graphiques comparatifs. La question 11 « l'image/son semblent t'ils synchrones ? » étant là pour estimer la qualité d'écoute de l'auditeur (« personne sensibilisée à l'écoute oui ou non »). Si la personne a pratiqué une écoute « attentive », un coefficient de 2 sera appliqué aux réponses lors du dépouillement.

Ex : Pour la question « Vous sentez-vous en décrochage par rapport à l'image ? » il sera considéré une pondération de 1 si pas de décrochage et 5 si décrochage.

Pour la question « Dans quel état vous sentez Vous ? », c'est la qualité d'éveil qui sera pondérée (1 peu d'éveil et 5 éveil...).

L'expérience a montré qu'une explication a été souvent nécessaire pour interpréter le questionnaire et que la deuxième écoute permettait d'affiner les réponses et d'ajuster la notation des critères.

Etude qualitative de l'espace Binaural/image.

Personne sensibilisée à l'écoute OUI NON

Lieu de l'écoute

Titre du film

M2 ESAV

Franck Brudieux 2013

Critères qualitatifs :	Critères quantitatifs : Les différents critères sur une échelle de 1 à 5 du -- au ++		Remarques :
	<u>Avec Image</u>	<u>Sans Image</u>	
1. Equilibre entre les voies avant et arrière : l'équilibre entre l'avant et arrière vous semble-t-il bon 5 ou déséquilibré 1 (cela peut être au profit de l'arrière ou de l'avant) ?			
2. Sources sur les côtés : percevez-vous des sources extra-crâniennes sur les côtés ou non ? sensation de 1 à 5			
3. Impression d'enveloppement : vous sentez-vous enveloppé par le son (sensation d'être au centre) ou non ? sensation de 1 à 5			
4. Impression d'homogénéité : l'image sonore vous semble-t-elle homogène 5 ou déséquilibrée 1 au profit de certaines zones angulaires ?			
5. Impression de naturel : l'image sonore vous paraît-elle naturelle 5 ou non 1 ?			
6. Précision de localisation : Localisez-vous de façon précise 5 ou diffuse 1 les sources ?			
7. Stabilité de localisation : la localisation des sources vous semble-t-elle stable 5 ou instable 1 ?			
8. Timbre : le timbre vous semble-t-il réaliste 5 ou non 1 ?			
9. Définition : la définition du son vous paraît-elle précise (5) ou confuse (1) ?			
10. Dans quel état vous sentez Vous ? 1 Anxieux, à 5 éveil ;			
11. l'image/son semblent t'ils synchrones (oui, non) ?			
12. Vous sentez-vous en décrochage par rapport à l'image ? 5-décrochage -1 pas de décrochage			
13. Trois mots pour décrire vos sensations ?			

D. ● LE CHOIX DU DISPOSITIF POUR LE TEST

Bernard Lagnel, ingénieur du son à radio-France, a mis au point un système portable « Plug and rec » pour ses enregistrements en mode binaural. Il l'utilise notamment pour des reportages et parfois en fictions (avec une tête artificielle). La singularité de cette prise de son est d'utiliser dans le même temps sa propre tête comme mannequin de prise son en binaural (avec 2 OMNI DPA 4060) et un couple stéréo XY (ZOOM H4N).



Fig :D-48 : Système Plug and Rec de bernard Lagnel

I. Avantages et inconvénients du dispositif de Bernard Lagnel.

a. Les facteurs influents pour la prise de son en mode stéréo

Pour une prise de son en stéréo il convient de connaître pour chaque type d'enregistrement les modalités suivantes :

L'angle d'enregistrement .:

- Directivité des micros
- Angulation des micros.
- Espacement entre les capsules des micros.

La distance par rapport à la source.

- Directivité de la source
- La distance de la source sonore

« L'effet de salle » (influence les choix de type de stéréo). Dans les deux films proposés pour le test, un sera en champ libre et l'autre en champ clos.

b. Le descriptif du procédé de l'enregistrement binaural

Si l'enregistrement binaural avec sa propre tête à l'inconvénient de n'être parfaitement écoutable (avec artéfacts limités) que par le preneur de son lui-même, il reste néanmoins un procédé avec une mise en œuvre relativement simple (et de plus ce sont bien les variations de ces artéfacts qui sont les objets de cette étude !).

La particularité du procédé de Bernard Lagnel est d'utiliser un enregistreur qui fait aussi couple stéréo, soit :

- L'enregistrement avec un **couple stéréo XY (Zoom H4N)**, stéréo d'intensité, est peu moins sensible à « l'effet de salle » et **sera donc choisie pour privilégier le frontal et aller « récupérer » des sons proches.**
- L'enregistrement binaural, avec **les 2 micros DPA 4060 OMNI (positionnés au niveau des oreilles de la tête, dont l'écartement mesuré est de 19cm)**, n'introduit que des variations temporelles entre les deux capsules. De plus les omnidirectionnels étant sur les oreilles, le procédé devient directif ! Le fait qu'ils ne sont pas sensibles à l'effet de proximité mais fortement à celui des réverbérations de « l'effet de salle », permettant un déplacement possible dans l'espace pendant l'enregistrement.

Pour Bernard Lagnel, l'enregistrement en modalité binaurale n'est qu'un « plus » par rapport à l'enregistrement stéréo. En effet, suite à de nombreux tests (sur une dizaine d'années), il a pu constater les bienfaits (l'extra largeur, la stabilisation et le relief de la zone d'écoute) en diffusion stéréo sur haut-parleurs que peut apporter l'association (enregistrement binaural + stéréo XY) par rapport à un couple stéréo classique ORTF. Ainsi son procédé permet de pouvoir passer directement de l'écoute binaurale (avec casque), à la diffusion stéréo (où multicanal) avec haut-parleurs sans mixage ni filtrage particulier ! Il convient néanmoins de tenir en compte, au moment du montage, des délais (phases) lié aux 40cm environ de distance entre les micros du zoom et ceux de la tête.

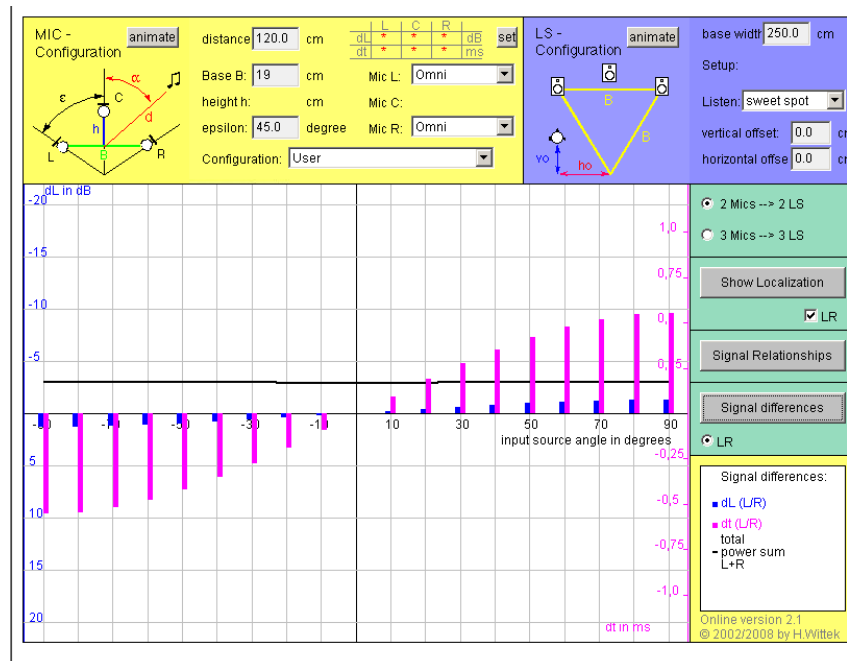


Fig D-49 : Diagramme montrant les différences en temps et intensité par l'influence de la distance (ici 120 cm) de la source sur les OMNI espacés de 19 cm. **Par convention on utilisera le positionnement idéal à six fois l'espacement entre les capsules, soit à environ 1,2m pour les micros OMNI.**

Cette application est paramétrable en ligne <http://www.hauptmikrofon.de/ima2-folder/ImageAssistant2.html>

c. Le descriptif du procédé de l'élaboration des films

Il a été vu précédemment (chapitre sur la localisation) l'influence du champ (clos ou libre) sur notre appréhension de l'espace sonore (notamment pour l'estimation des distances). Afin d'en tenir compte pour la réalisation des tests, deux films ont été tournés dans deux champs différents. De plus, hormis les indices de localisation, l'influence de l'image sur l'espace sonore est d'autant plus probant que notre mémoire cognitive entre en jeu (effet cocktail). Ainsi les deux films proposés auront une tendance à l'abstraction (tel que le décompose P.Schaeffer) ou au concret.

L'enregistrement vidéo sera réalisé avec un appareil photo canon 5D équipé d'un objectif de 28mm (Le son enregistré par l'appareil photo devant servir de son témoin lors du synchronisme sur le logiciel « Protocols »). L'appareil photo, couplé avec le Zoom H4N, met ainsi la prise de vue du canon 5D au même niveau que les micros XY du Zoom et à environ 40cm des 2 Omni DPA 4060 positionnés dans les oreilles (distance à prendre en compte pour lors du phasage des XY et Omni sous Protocols).

FILM « LES INSTRUMENTS » (champ clos)

Installation sonore « **Electrik Botanik Ensemble** », durée 6'35

Typologie du film : « abstraite »

Ce film a été réalisé avec l'installation sonore de Basile Robert en champ clos. Ici c'est une structure en bois contre-plaqué qui entoure toute l'installation. La distance d'enregistrement des sources oscille entre 1 et 2m (distance idéale pour optimiser la localisation par ITD, voir figure). L'objectif était d'avoir des sources émettant sur une large gamme de fréquences (voir sonagramme , fréquences constatées allant 250 Hz à 15000 Hz) et stables. En effet la large bande de fréquences et la stabilité des sources devant permettre une meilleure localisation des sources « avant-arrière ». La désynchronisation introduite (au moment du montage) de 40ms, associée à la non reconnaissance des instruments utilisés avait pour objectif de troubler l'auditeur spectateur (celui-ci devant pour reconnaître les sons, pratiquer une posture d'écoute « attentive » et ainsi pouvoir répondre à la question 11 du questionnaire). L'environnement est « inconnu » et induit un certain stress...



FIG D-50 : Installation sonore « Electrik Botanik Ensemble », médiathèque cabanis Toulouse

« Issu d'une double expérience, celle de la création sonore et celle du développement technologique au service du spectacle vivant, Basile Robert est spécialisé depuis quelques années dans la génération de sons acoustiques et amplifiés générés à l'aide d'actionneurs (moteurs, électro-aimants, etc.) ainsi que d'objets divers et variés de récupération, pilotés par un système informatique. Sa démarche bénéficie des applications issues des recherches appliquées du GMEA qui l'accompagne sur cette voie depuis plusieurs années. »

« Bibliothèque Cabanis, information » 2013

Film « LES ENFANTS » (en champ semi-libre):

Film d'un repas avec enfants, durée 2'

Typologie du film : « concrète »

Ce film réalisé dans un champ semi-libre (terrasse extérieure), avait pour objectif d'expérimenter « l'effet cocktail ». Cette focalisation rendu possible par l'espace binaural doit aussi répondre à certaines caractéristiques pour un effet maximum (Les voix doivent venir de différentes directions, la lecture sur les lèvres et de la gestuelle, plusieurs voix et la diversité des accents). Cette scène de repas a pour avantages de mélanger différentes voix d'enfants (garçons et filles), des voix d'adultes situées en hauteur (les enfants sont assis et les adultes debout) et des accents étrangers (une voix polonaise). L'environnement est reconnu et rassurant...

Ce film monté sur Final cut n'a pas été désynchronisé mais mis en phase sur protocols (40cm entre le XY et les omni).



Fig D-51 : Image extraite du film « les enfants »

Nota: Deux versions de ce film test ont été montées. Une version avec les micro omni directionnelles DPA 4060 + le couple XY et une autre avec la seule stéréo XY du zoom H4. Ceci afin de confronter l'intérêt de l'enregistrement en mode binaural par rapport à la seule stéréo XY. A l'écoute du film test stéréo XY, il a été rapidement constaté qu'il y avait des ruptures de continuité sonore lors des déplacements pendant la séquence. Cette continuité étant conservée par l'enregistrement binaural !

L'écoute du résultat aux enfants a permis de constater leurs retours spontanés mais précis sur les singularités de l'espace binaural (manque de frontal...).

II. Le choix d'un casque pour une écoute binaurale.

L'enregistrement binaural oblige à une restitution au casque (contrairement à la diffusion transaurale) et celui-ci entre ainsi comme un élément important dans la sensation de l'espace sonore. L'écoute binaurale entraîne à une double modalité d'écoute (telle que le définissent Schaefer et Barbanti): une écoute « Praticienne et Ecologique ». Cette posture est explicitée par le témoignage suivant :

« L'écoute au casque enlève le côté physique et convivial de l'écoute pour la rendre uniquement cérébrale, individuelle , chirurgicale... »

<http://www.forum-audiophile.fr/impressions>

Différents types de casques :

a. Les types de casques par transmission au tympan (circum-auriculaire ou non)

Aujourd'hui, les casques « classiques » audio fonctionnent de la même manière. Ils sont posés sur ou dans l'oreille et les ondes sonores sont transmises à travers le tympan. Ces types de casques nous privent de deux indices d'écoute (voir chapitre) ! **Les modifications spectrales liées aux pavillons des oreilles externes et l'écoute par le squelette (tête, thorax...).** De plus les mouvements d'adaptations de la tête à la confusion sonore sont de facto, absents...

On distingue :

- Les casques ouverts et semi-ouverts : Ils privilégient l'ampleur de l'image sonore.
- Les casques fermés, pour le nomadisme sur Iphone, Smartphone et Balladeur..
- Les "intra-auriculaires" où l'oreillette prend place dans les oreilles.



.Fig D-52 : Casque Yamaha
"intra-auriculaires" EPH-100



Fig D-53 : Le Casque GRADO GS 1000
est un casque électrodynamique ouvert

○ Les casques fermés 5.1 (par transmission au tympan).

Dédier aux joueurs et films d'actions ces casques utilisent ou non le décodage Dolby Digital ou Prologic.



Les écouteurs imposants du Kave et les transducteurs qu'ils renferment

Fig D-54 : le casque multicanal Roccat Kave



Audio
Traitements Dolby Digital, Dolby Prologic
Connexion par fibre optique ou prise jack 3.5mm analogique
2 prises casque
DRC (commande des dynamiques)
TD selection (réglage de la synchronisation de l'image et de la voix)

Casque
Haut-parleur central : 2 x 30 mm, sensibilité 120 dB (+/- 3dB à 1 mW), réponse en fréquence 130 à 2.5 KHz
Haut-parleur avant : 2 x 30 mm, sensibilité 120 dB (+/- 3dB à 1 mW), réponse en fréquence 20 à 20 KHz
Haut-parleur arrière : 2 x 30 mm, sensibilité 120 dB (+/- 3dB à 1 mW), réponse en fréquence 20 à 20 KHz
Subwoofer : 2 x 40 mm, sensibilité 118 dB (+/- 3dB à 1 mW), réponse en fréquence 20 à 30 KHz

Du jeu vidéo



Le Roccat Kave est taillé pour le jeu : remplit-il son contrat ? En matière de spatialisation, il n'y a pas à tortiller. L'orientation des haut-parleurs permet effectivement de ressentir la différence entre les sons venant de l'avant et ceux émanant de l'arrière. La localisation est ultra précise, à tel point qu'on perçoit les transitions de transducteur lorsqu'on fait tourner son personnage en boucle dans **Left 4 Dead 2**. Par rapport à un algorithme Dolby, le Kave ne produit aucun écho. C'est bien, sauf que cet effet sert aussi un peu de liant

entre les canaux, d'où cette sensation de diffusion « sèche » sur le Kave.

Il n'y a rien à redire sur la qualité du son, qu'on peut effectivement régler finement grâce à la télécommande. En revanche, nous avons eu quelques déconvenues avec le réglage « Sub » qui sur certains jeux est resté inopérant. C'est le cas de **Left 4 Dead 2**. Tandis que sur **Call of Duty : Modern Warfare 2**, le niveau « Sub » poussé à fond ne génère qu'un léger vrombissement, assez inutile. Il n'y a que sur **Battlefield Bad Company 2** que l'effet fonctionne : il accentue les basses, mais crée surtout les fameuses vibrations vantées par Roccat. Très réalistes sur les détonations de fusil ! Peut-être que l'étagement des transducteurs de 30 mm sur 20 - 100 Hz est trop restrictif pour certaines bandes-son... en tout cas, c'est vraiment dommage parce que sur **Battlefield Bad Company 2**, le Roccat Kave vaut bien le Tritton AX Pro ! Mais sur les autres jeux en revanche, le verdict va sans appel au casque de Tritton.



Call of Duty : Modern Warfare 2 et Battlefield Bad Company 2

Fig D-55 : test pour les jeux vidéo du casque Roccat Kave

<http://www.clubic.com/materiel-audio-hifi/casque-audio/article-400268-1-test-roccat-kave.html>

b. Les casques par transmission osseuse.

De nouveaux casques commencent à être développés, utilisant l'ostéophonie. Initiée par la recherche militaire, la conduction osseuse atteint aujourd'hui des performances comparables à celles des casques classiques. Les casques utilisant la conduction osseuse ne sollicitent pas le tympan. C'est le casque qui joue le rôle du tympan en transformant les ondes sonores en vibrations. Ensuite, ces vibrations sont directement transmises, par les os, aux cellules cillées de la cochlée, dans l'oreille interne. Il n'y a donc pas utilisation de l'oreille externe et moyenne. Il existe ainsi sur le marché, différents types de « transmetteurs ».

○ Casque sur l'os :



Fig D-56 : L'entreprise américaine, Audio Bone a mis au point des écouteurs capables en plus de résister à l'eau. Ils peuvent donc être utilisés en piscine. Ces écouteurs reposent sur le dessus de l'oreille et sont en contact avec les os environnants (ref OST)

○ « Casque » dans la bouche.

Le Play-A-Grill permet d'écouter de la musique en se plaçant dans la bouche, contre le palais comme un appareil dentaire. Une fois allumé, le Play-A-Grill diffuse de la musique, par l'intermédiaire des os de la boîte crânienne. En effet, la partie avant de l'appareil, en contact avec les dents, fait office d'émetteur, et la vibration se propage jusqu'à l'oreille par le principe de l'ostéophonie.

Le son écouté peut être réglé à l'aide de boutons de commande situés sous l'appareil et qui peuvent être actionnés avec la langue

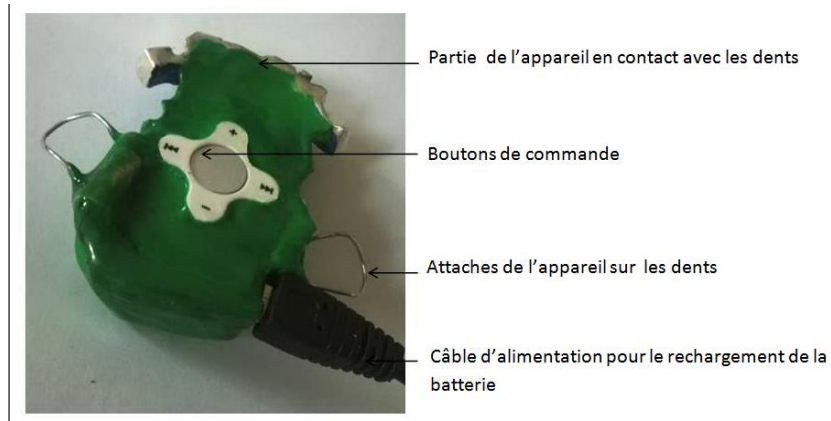


Fig D-57 : le son par la bouche « play a grill »
(ref : OST)

○ Les avantages et quelques utilisations de l'ostéophonie :

Un casque audio sans écouteurs ! C'est le pari de Panasonic avec son RP-BTGS1, la conduction osseuse des ondes doit diffuser le son.



Le Wireless Bone Conduction Headphones constitue une bouffée d'air frais dans un CES 2013 jusqu'à présent un peu monotone et très conventionnel. Avec son RP-BTGS1 Panasonic s'inscrit pas un nouveau concept de casque audio, mais s'engage sur un chemin que peu de constructeurs ont emprunté jusqu'à présent. Celui de la conduction osseuse des ondes sonore par vibration pour diffuser un son.

Fig D-60 : casque panasonic osteophonique (Ref OST)

L'écoute avec des casques « classiques » peut endommager l'audition car elle fatigue le tympan. Ce qui est impossible en ostéophonie étant donné que la conduction osseuse limite la puissance transmise au tympan (l'os jouant le rôle de filtre). L'intérêt en « écoutes nomades », est que les oreilles externes n'étant pas utilisées, elles restent opérationnelles pour toutes les écoutes d'alertes. Ainsi ce système ouvert permet de conserver une vigilance tout en regardant un film (un peu comme si l'on avait deux paires d'oreilles !). Il est à noter que la stéréophonie⁶³ est aussi réalisée avec ces casques (Il pourrait être intéressant de comparer avec des écoutes binaurales dans ce type de transmission.).



Fig D-58 : le système FELIN de la société SAGEM pour l'équipement de l'armée française. (ref OST)

Ce sont tous ces avantages, par rapport aux casques "intra-auriculaires" et fermés, qui ont permis un développement récent de l'ostéophonie (ex le bandeau ostéophonique du système militaire FELIN) par la société SAGEM. Le « bandeau ostéophonique » mis au point, utilise doublement le principe de l'ostéophonie. En effet, il permet au soldat de recevoir des communications radio mais il sert aussi de microphone. (Les messages que prononce le soldat sont enregistrés directement par les vibrations crâniennes !).



Fig D-59 : les Google glasses avec son ostéophonique (ref OST)

La firme Google va sortir en 2014 les « Google glasses »... On pourra contrôler ses lunettes par la voix, et ainsi leur demander de filmer, de prendre une photo, ou capter du son par ostéophonie.

⁶³ J.A. MacDonald, P.P. Henry et T.R. Letowski, « Spatial audio through a bone conduction interface », International Journal of Audiology, Informa Healthcare, vol. 45, no 10,

c. Casques avec spatialisation :



Fig D-61 : Casque expérimental pour holophonie binaurale (ref GRE 08)

Par processeur : En 1997, Sennheiser a produit une boîte de traitement de poche compacte appelé Lucas, qui spatialisait un signal pro-logique Dolby stéréo en reconstruisant un effet de son surround binaural dans le casque. Les «fonctions de transfert de la tête» (HRTF) étaient générées, via un processeur DSP, sur les deux canaux.. Quinze ensembles de HRTF différentes étaient fournies et l'utilisateur devait passer par un processus de configuration pour sélectionner le jeu qui correspondait le mieux à sa physionomie. **Le système Lucas fonctionnait étonnamment bien si vous gardiez la tête fixe, mais tout mouvement tendait à briser l'illusion.**

Par holophonie⁶⁴ : Le système holophonique binaural, en s'abstenant du calcul HRTF, lui n'en est encore qu'au stade expérimental. Il recrée au niveau des oreilles externes le champ sonore et la déconvolution est réalisé par ces mêmes oreilles.



Fig D-62 : Casque avec système « head tracker » : Le système Realiser¹ comprend un petit appareil placé sur le casque serre-tête et un autre petit dispositif à l'avant de la chambre, qui surveille en même temps la position de la tête de l'auditeur, tous les cinq millisecondes. Comme la tête se déplace, et peu importe la rapidité avec laquelle il se déplace, le Realiser recalcule tous les facteurs HRTF, de façon transparente et en temps réel, le maintien d'une localisation précise par rapport à l'écran.

(source : ¹<http://smyth-research.com/>)

Le système « headtracker » :

Dans le monde réel, la direction d'un son reste immobile alors que nous bougeons notre tête (ces mouvements de têtes ayant pour but de confirmer une information sonore ou l'affinement de sa localisation). Avec un casque « normal » les sons se déplacent avec nos mouvements de tête, ce qui réduit le rendu « naturel » d'une écoute binaurale. Le système « headtracker », mis au point en suisse début 2000, équipe un casque de deux émetteurs qui informe le processeur de la position de la tête de l'utilisateur en permanence en trois dimensions. Les émetteurs étant placés dans des positions connus sur la tête, on obtient la position de la tête dans un repère 3D, ainsi que l'incidence du regard et l'angle d'écoute de l'individu. Les réponses impulsionnelles associées à ces mouvements de têtes sont effectuées en temps réel. Dans le cas d'une écoute nomade, le fait que le son reste dans un repère spatial fixe (alors que la tête bouge) et que l'écran reste fixe, redonne un espace de liberté à la tête de l'auditeur, qui peut se dégager de la position fixe par rapport à l'écran. Le son gagne ainsi en autonomie par rapport à l'image ! L'effet d'écoute naturelle ainsi augmentée, en limitant les artéfacts de l'espace sonore binaural (par ex l'effet de confusion « avant – arrière »), a comme avantage de durcir le système de spatialisation binaurale.

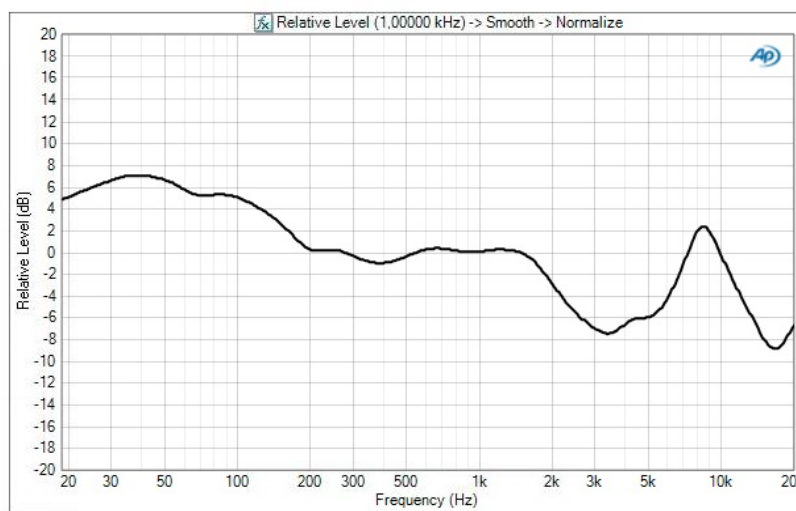
⁶⁴ Raphaël GREFF , Holophonie binaurale -Spatialisation sonore sur réseaux -de haut-parleurs circumauraux Université PARIS VI,2008

• **Le choix d'un casque pour le test d'écoute « Binaural »**



Ref D-63 : casque électrodynamique semi-fermé « audiotechnica ATH M50 ».

Une écoute nomade va restreindre notre choix autour des casques fermés afin de réduire les influences sonores extérieures. Si les écouteurs intra-auriculaires sont d'une grande efficacité pour le rendu en localisation binaurale (le positionnement à l'intérieur des oreilles étant unique mais peu hygiénique), ils souffrent néanmoins d'une faiblesse dans les basses fréquences. Bernard Lagnel (ingénieur du son à Radio-France) ayant testé de nombreux casques dans le cadre de ses recherches en binaural, m'a conseillé le **casque semi-fermé « audiotechnica ATH M50 »**. Celui-ci ayant, pour lui, l'avantage d'assurer un « bon rendu frontal », ce qui est loin d'être le cas pour tous les casques ! La courbe de réponse, peu linéaire, favorise les basses fréquences au dépend des fréquences entre 3 et 5 kHz. Celle-ci, par comparaison à un casque comme le Beyer DT 770 n'est pas une des plus « régulières » (pour assurer un rendu « naturel ») mais correspond à une courbe de réponse « moyenne » si on la compare à un casque « populaire » comme le Sennheiser HD 439. Concernant l'isolation du casque, l'audiotechnica ATHM50 n'est pas non plus des meilleures mais correspond aussi au casque « moyen » pour une écoute « nomade ».



Ref D-64 : courbe de réponse audiotechnica ATH M50

Sennheiser HD 439 Casque Hi-Fi pour iPod/iPhone/MP3/tablette
de Sennheiser
★★★★☆ (5 commentaires clients)

Prix conseillé : EUR 69,90
Prix : **EUR 65,00** LIVRAISON GRATUITE Détails
Économisez : EUR 24,90 (28%)

Il ne reste plus que 15 exemplaire(s) en stock.
Expédié et vendu par Amazon. Emballage cadeau disponible.

Voulez-vous le faire livrer le vendredi 20 septembre ? Commandez-le dans les **23 h et 32 min** livraison en 1 jour ouvré sur votre bon de commande. [En savoir plus.](#)

- Description du produit: Sennheiser - HD 439
- Type de produit: Casque Hi-Fi
- Réponse en fréquence: 17 - 22 500 Hz
- Niveau de pression acoustique max. (SPL): 112 dB (SPL)
- Impédance nominale: 32 Ohms
- Type de transducteur: Dynamique
- Type de casque: Fermé
- Connecteurs: Jack 3,5 mm plaqué or / adaptateur Jack 6,3 mm plaqué or
- Longueur de câble: OFC unilatéral détachable 3 m et 1,4 m
- Compatible: Pour iPod/iPhone/MP3/tablette

[Voir plus de détails](#)

3 neufs à partir de EUR 65,00 1 d'occasion à partir de EUR 54,22

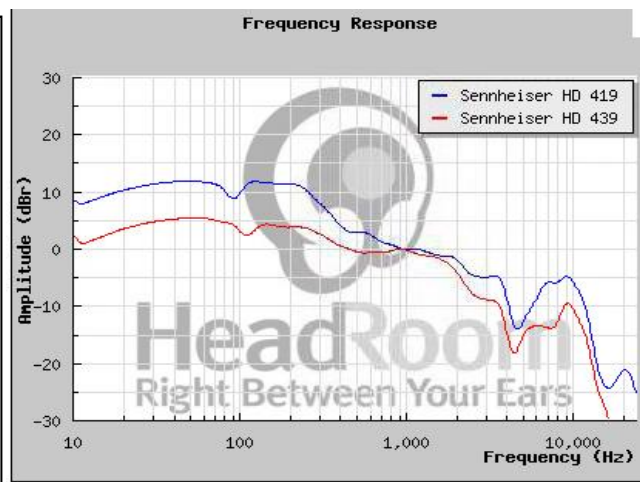


Fig :D-65 : courbe de réponse Sennheiser HD 439

III. La visualisation nomade choisie.

Pour la visualisation nomade il sera utilisé la tablette logicom 750 avec un écran de 7'' dans la taille « moyenne » des écrans « nomades ».

Spécifications Techniques

Dimension (mm*mm*mm)	192*114.8*11.9
Poids	Environ 300g
Ecran	LCD 7 " 800x480
OS	Android 4.1.1
Processeur	ARM Cortex A8 de 1.0GHz
Mémoire	512Mo DDR3, 4Go interne
WI-FI	802.11b/g/n
Connexions	Micro-USB, Micro-SD (jusqu'à 32Go), prise casque
Batterie	3.6V 2400mAh Li-Poly
Autonomie	Jusqu'à 15h en mode musique, 3h en internet et 3D et 4h en vidéo
Température de fonctionnement	Entre -10°C et 45°C



Fig :D-66 : la tablette logicom 750

IV. Les résultats attendus...

Les artéfacts des indices monoraux en fréquences sont connus⁶⁵ et comme l'enregistrement binaural ne prend pas en compte les indices spectraux des différents auditeurs, l'écoute doit normalement entraîner les défauts suivant :

- La confusion avant/arrière
- Une localisation du son intra-crânienne
- Une distorsion de la localisation en élévation
- Les sources frontales ne sont pas perçues devant...

L'objet de l'étude est moins de démontrer l'existence de ces distorsions mais d'objectiver leurs variations par l'apport des stimuli visuels et environnementales.

⁶⁵ Séminaire audio 3D, Orange Labs R et D, 2013

E. ● LE DEROULEMENT DU TEST

Le test s'est déroulé sur une période de trois mois, dans les transports et lors de diverses rencontres. Le questionnaire a montré sa pertinence dans certains critères décisifs (détection du synchronisme...). Trente-six fiches ont été renseignées pour les deux films tests. Les remarques ont orienté et les quantifications ont permis de confirmer les tendances observées.

I. Le dépouillement

a. Les premières impressions

Ce sont les remarques qui dans un premier temps, permettent de juger la qualité de réponses au questionnaire. Ainsi il a été mentionné pour les divers critères :

Equilibre entre les voies avant et arrière :

- *Plus vers l'arrière, jamais vers l'avant !*
- *J'ai dans les deux cas, mieux ressenti l'avant que l'arrière*
- *J'entends plus devant que derrière.*
- *Bonne impression d'immersion dans l'espace, encore plus avec l'image*
- *Sensation du son plutôt à l'arrière et sur les côtés*

Sources sur les côtés :

- *Sources en dehors de la tête.*
- *Impression de sons au milieu*
- *Avec l'image les sons des personnes sont beaucoup plus perceptibles.*

Impression d'enveloppement :

- *Plus enveloppé avec l'image*
- *Enveloppement plus fort sans l'image*
- *Extérieur à moi malgré sa précision*
- *Très net avec l'image*

Impression d'homogénéité :

- *Homogène mais difficile de se concentrer au centre*
- *Sensation de déséquilibre en fin*
- *Plutôt homogène*

Impression de naturel :

- *Naturelle mais trop riche pour être réaliste*
- *Oui, j'ai d'abord cru à une intempérie puis à un chantier*

Précision de localisation :

- *Sans l'image, facilement désorienté*
- *Cela dépend des sons*
- *Bonne précision sur les panoramiques.*
- *Pas très précis, mais cela ne gêne pas...*

Stabilité de localisation :

- *Sans l'image, instable par moment (80% stable)*
- *Avec l'image, j'étais perdu entre l'image et le son...*
- *Certaines paraissent stables.*

Timbre :

- *Agréable car équilibré*
- *Le timbre semble tirer vers les aigus...*
- *Il semble manquer de grave*

Définition :

- *Précis*
- *Avec l'image, paraît confus car peu de correspondance*
- *Plutôt précis, malgré la complexité de l'installation...*

On constate qu'à travers ces remarques, parfois contradictoires, il est difficile de se faire une opinion. Chaque participant au test a vu les deux films dans un ordre pré-déterminé. En premier, celui des « enfants » de 2' (une vision avec son seul puis avec l'image) puis en second temps celui des « instruments » de plus de 6' (une vision avec son seul puis avec l'image). Un des objectifs du film des « instruments » étant d'estimer la qualité d'écoute de l'auditeur. En effet si l'auditeur-spectateur (ayant élaboré une stratégie d'écoute) repère la désynchronisation introduite au montage, de une image (soit une durée de 40ms, celle-ci n'étant facilement visible que lors du moment de la frappe du marteau sur le tambour), il sera alors qualifié d'auditeur « sensibilisé ». Cette qualification permettant par la suite d'appliquer **un coefficient multiplicateur de 2** pour les résultats quantifiés sous les formes graphiques du test. Ces pondérations (de 1 à 5) apportées aux critères qualificatifs sont primordiaux pour confirmer les appréciations recueillis. Même si la pondération en valeur absolue ne correspond à aucune valeur chiffrée, ici c'est la comparaison des « sensations – perceptions » qui est recherchée ?

Mais dans une approche phénoménologique de l'espace « binaural-image », la première impression globale est très importante car elle permet d'appréhender la posture d'écoute mise en place par la personne testée. « Il est impossible de décomposer une perception, de la transformer en un ensemble de sensations, parce que l'ensemble est antérieur aux parties »⁶⁶. Il a été constaté qu'en faisant écouter à des enfants de 7 ans le film réalisé sur eux, l'impression première a été de décrire parfaitement les artefacts symptomatiques de l'espace sonore binaural. L'écoute pratiquée chez les enfants est ainsi plus proche de l'approche phénoménologique où la notion de « lâcher prise », la non intellectualisation des sensations est somme toute plus naturelle. (Par contre toute notion de pondération, certainement trop complexe, nécessite un questionnaire adapté à leur âge).

Cette pondération a été tout aussi difficile à obtenir lors de la réalisation du test dans le cas singulier d'une personne adulte rencontrée, ayant eu plusieurs opérations dans sa jeunesse aux oreilles. Son problème était notamment de ne pas pouvoir localiser les sons ! En effet dans un environnement bruyant d'un bar, elle a du mal à entendre une personne à 1m d'elle car elle ne peut focaliser sur sa voix (celle-ci se mélangeant avec l'ambiance du bar sur les côtés !). Sa stratégie d'écoute a été alors de mettre sa main derrière les pavillons de ses oreilles. Le passage du test n'a fait apparaître aucun des artefacts de l'espace binaural (pas de prépondérance de l'arrière, pas de trou sonore constaté), seule une légère amélioration en précision de location et stabilité sonore avec l'apport de l'image sont constatées. Ce problème de localisation frontal est (selon moi) symptomatique d'un problème de traitement des indices monoraux ! Cette observation corrobore les recherches sur l'audition des aveugles qui montrent que bien qu'ayant adopté des améliorations et compensations auditives, ils restent peu sensible à l'espace sonore binaural. **L'espace binaural avec ou sans image, pour être effectif, nécessite donc d'être en parfaite procession de ses moyens auditifs ET visuels !**

⁶⁶ Jacques Merleau Ponty B.States, Great reckonings in little Rooms, Berkeley, University of California Press, 1987

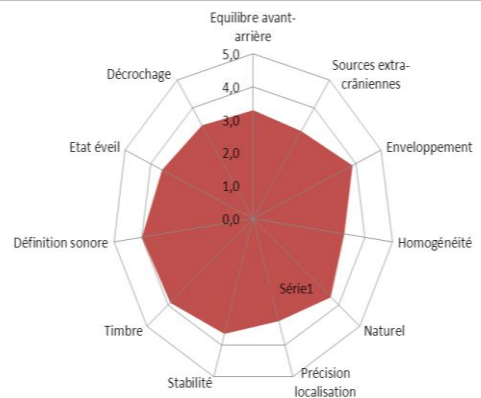
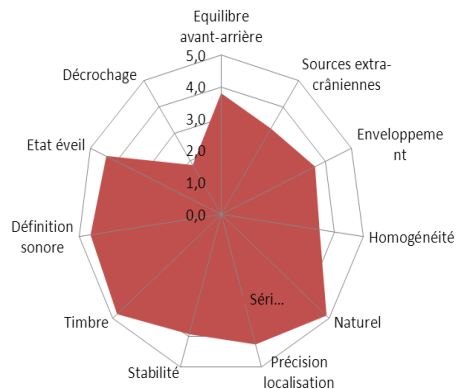
b. Un outil de visualisation des tendances :

Le diagramme « cible » pour confirmer des tendances : Les avantages du diagramme cible est de synthétiser sur une seule vue des données n'ayant pas la même qualité et de signifier des tendances par comparaison surfacique. Ainsi par comparaison surfacique on vérifie l'influence globale par l'ajout de l'image animée.

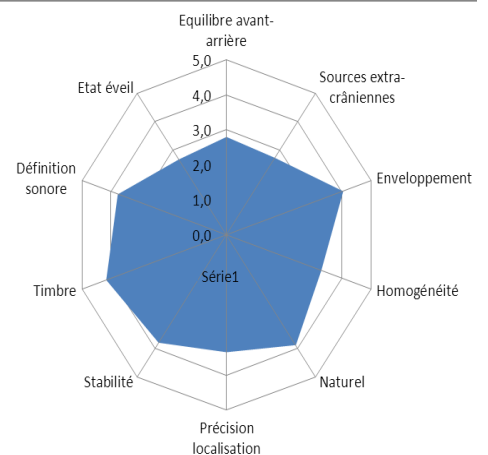
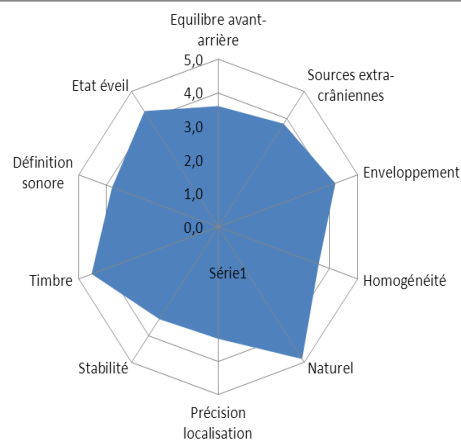
FILM « LES ENFANTS »

FILM « LES INSTRUMENTS »

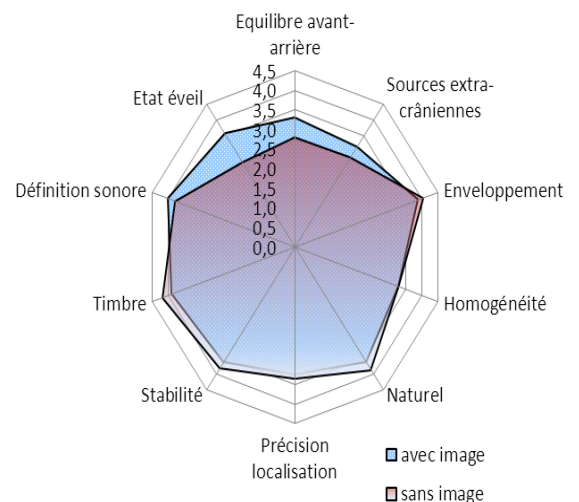
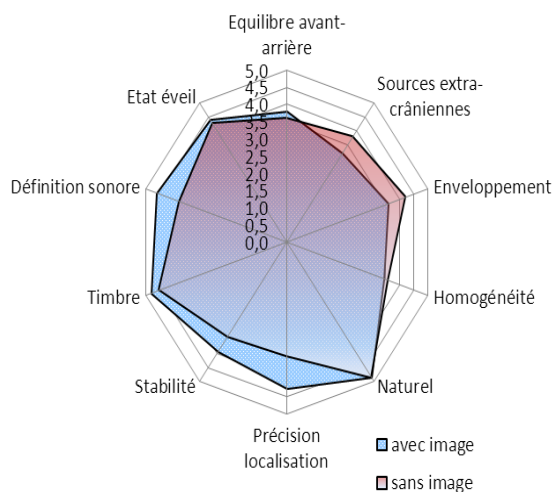
• Diagrammes cibles, avec « IMAGE »



• Diagrammes cibles, sans « IMAGE »



• Comparaisons surfaciques des diagrammes cibles



c. La quantification de l'influence de l'image :

Film les enfants

Influences de l'image animée

1	Equilibre avant-arrière
2	Sources extra-crâniennes
3	Enveloppement
4	Homogénéité
5	Naturel
6	Précision localisation
7	Stabilité
8	Timbre
9	Définition sonore
10	Etat éveil

Film instruments

Influences de l'image animée

1	Equilibre avant-arrière
2	Sources extra-crâniennes
3	Enveloppement
4	Homogénéité
5	Naturel
6	Précision localisation
7	Stabilité
8	Timbre
9	Définition sonore
10	Etat éveil

Un code couleur appliqué aux différents critères qualitatifs nous permet d'apprécier les apports « ressentis » par l'image.

- Lorsqu'aucune variation de sensation n'a été ressentie avec l'ajout de l'image, la coloration du critère qualitatif sera **ORANGE**. L'image n'apporte rien à l'espace sonore binaural.
- Lorsque une variation supérieure à 5% sera ressentie ; la coloration du critère qualitatif sera **VERTE**. L'apport de l'image sera considéré comme bénéficiaire au niveau des artefacts de l'espace sonore.
- Lorsque une variation inférieure à 5% sera ressentie ; la coloration du critère qualitatif sera **ROUGE**. L'apport de l'image sera considéré comme déficitaire au niveau des artefacts de l'espace sonore.

Ce code couleur permet de voir de manière lisible, que la typologie du film, ainsi que le champ (libre-clos) sont des facteurs non négligeables dans l'appréhension de l'espace sonore. Il est toutefois difficile de déterminer (en tout cas dans l'élaboration de ce test !), ce qui est lié aux champs (libre -clos) ou à la typologie du film (concrète-abstraite).

II. Observations et analyses

La première constatation est de voir l'extrême variabilité (autour de 40%) de la sensation de « décrochage » du son par rapport à l'image entre les deux films. Les remarques des auditeurs confirmant l'influence de la typologie du film sur leurs sensations. En effet l'abstraction provoquée par la non reconnaissance des instruments présents (dans le film « les instruments »), engendre un certain trouble qui provoque ce décrochage du son (ainsi qu'un état d'éveil amoindri) par rapport à l'image. Ce n'est que lorsqu'il y a la reconnaissance de voix humaines (hors champ) ainsi que la visualisation du battement de tambour (instrument reconnaissable), que l'auditeur-spectateur se sent rassuré, et peut se raccrocher à l'image. Par contre dans le film des « enfants », la sensation de décrochage est beaucoup moins forte. Ce film de typologie « concrète » nous montre un environnement familier (un repas de famille) où le son reconnu participe à cette « chaleur » d'un quotidien que chacun a pu expérimenter !

Ce trouble engendré par la « non reconnaissance cognitive » peut aussi être accentué par une autre distorsion des sensations. En effet la sensation d'être au centre de l'action par le son et la dichotomie de l'écran si petit, entraîne une sensation de malaise tel qu'exprimée : « la relation image/son m'a paru par moment incompatible. J'étais proche du son, comme au milieu, et face à l'image donc plus loin. Peut-être qu'avec une image en 360 autour de moi, je n'aurais pas eu cette impression », « je préfère l'écoute sans l'image, elle m'a semblé plus ample, plus intense, immédiate, présente, j'étais dedans l'expérience. ». Seulement 20% des personnes qui ont été interrogées, ont été qualifiées de personnes sensibilisées à l'écoute. C'est-à-dire qu'elles ont élaboré une stratégie d'écoute permettant de détecter le problème de synchronisme du film des « instruments ». Mais il apparaît néanmoins que ces personnes ne se distinguent pas particulièrement des autres personnes du test lorsqu'il se s'agit d'évaluer l'influence de l'image sur la restitution de l'espace sonore. De plus il a été constaté que les sensations liées aux artéfacts « normalement » connus de l'espace sonore binaural (sans image) étaient très variables d'un individu à un autre, d'un film test à un autre. Ceci corrobore les travaux de Sylvain Busson⁶⁷ où il montre à travers diverses expériences en laboratoire la non reproductibilité des résultats obtenus dans l'individualisation des HRTF (plasticité du cerveau à long et court terme, meilleure localisation avec HRTF de synthèses que issues de mesures...). **Malgré tout l'apport de l'image est sensible (entre 5 et 10%) pour l'amélioration de l'équilibre sonore (avant – arrière) et de sa définition (résolution, clarté, précision de localisation).** Par contre l'image n'apporte rien pour ce qui est du naturel et de l'homogénéité de l'espace sonore. La comparaison contradictoire des données des deux films semble indiquer que les critères de « timbre », « stabilité » et des sources « extra-crâniennes » sont directement influencés par le champ (clos-libre) de l'enregistrement.

Ces deux films montrent que l'impact phénoménologique est intimement lié à la typologie (concrète, abstraite) du film. Nos perceptions cognitives étant pour une grande part influencées par notre cerveau. L'équilibre avant-arrière, qui est la résultante d'artéfacts connus et liés aux enregistrements binauraux (dû au manque d'individualisation des indices spectraux monauraux), est loin d'être mis en évidence et très variable suivant les individus. Mais il convient de noter que celui-ci, lorsqu'il a été identifié, se trouve légèrement amélioré par l'apport de l'image ! .

⁶⁷ Sylvain Busson, « Individualisation d'indices acoustiques pour la synthèse binaurale » Université de la méditerranée Aix-Marseille II, Ecole Doctorale de MECANIQUE, PHYSIQUE ET MODELISATION, 2006, p196

Tableau de synthèse :

<u>Critères</u>	Semblent « Influencés » par :
Le décrochage et l'état d'éveil	La typologie du film et la taille de l'écran
Le timbre, la stabilité, les sources extra-crâniennes	Le champ (clos-libre) de l'enregistrement
L'équilibre sonore ainsi que la définition et précision des sources	L'apport de l'image
Le naturel et l'homogénéité	Aucune influence de l'image

F. LES PERSPECTIVES ET CONCLUSION :

Le passage d'un cinéma de l'immersion au cinéma de la matérialisation...

I. Une nouvelle utilisation des espaces sonores ?

Si l'espace sonore binaural se définit comme le plus naturel possible, il convient de constater qu'il change aussi notre rapport à l'image (en comparaison au multicanal et l'immersion surround !). En effet cette impression, souvent rencontrée, de décrochage du son par rapport à l'image nous fait pénétrer dans un espace dont la réalité sonore est « sur-augmentée » jusqu'à aller vers une sensation sonore que je qualifierais de « matériel ». Ainsi l'exprime Patrice Pavis lorsqu'il parle de l'expérience de la matérialité « Le spectateur est d'abord plongé dans l'expérience esthétique et l'évènement matériel. Il n'a pas à réduire son expérience à des mots, il savoure, ne se résout pas à réduire la représentation à des signes, comme le fait parfois, la sémiotique. ». Le tableau ci-dessous est une tentative d'établir une grille « simplifiée » d'utilisation des espaces sonores.

PRINCIPES	TYPES DE DIFFUSIONS	TYPES DE CINEMA
LOCALISATIONS	MULTICANAL EN SALLE OU HOME CINEMA	CINEMA DES EFFETS...
ENVELOPPEMENT	DOLBY SURROUND	CINEMA IMMERSIF
ESPACE DE PROXIMITE « MATERIEL »	BINAURAL - TRANSAURAL	CINEMA DES SENSATIONS ET PERCEPTIONS

fig F-67 : Utilisation des espaces sonores

II. L'apprentissage à l'écoute de « pleine-conscience »

« L'écoute désirante est un mécanisme à double détente. Dans l'étape préliminaire de la focalisation de l'écoute vers un objet, elle oriente et modifie l'intention perceptive, elle la prépare, la conditionne. L'écoute est alors un état « d'autosuggestion », moment où l'on croit réellement ce qu'il fait plaisir d'entendre... »⁶⁸. Dans le cadre d'une utilisation nomade, le désir de l'auditeur est d'avantage tournée vers la sensation, le perceptif, que vers la narration (contrairement à la posture d'écoute dite « hallucinée »⁶⁹, en salle de cinéma). Les désirs ne sont pas les mêmes ! Avec le casque on entre dans l'espace intime, le son nous invite au fantasme, à l'introspection, alors que l'image nous ramène dans le concret (la narration, la validation). Le *mixage naturel* et accidentel, dû aux mélanges des sons du « programme » et de l'environnement extérieur, fait partie du plaisir et du trouble renouvelé qui accompagne chaque écoute. On entre alors en pleine conscience de soi, de son corps, la sensation de faire partie intégrante du monde. Mais comme dans toutes les postures d'écoutes, tel que l'écoute des Mantra, l'écoute binaurale nécessite un apprentissage !

⁶⁸ François J. Bonnet, « les mots et les sons : un archipel sonore »

⁶⁹ Patrice Pavis, « l'analyse des spectacles », Armand Colin, 2012, p23

III. Ce qui peut changer pour la conception audiovisuelle ?

a. L'élaboration des points d'écoute dès le scénario

La prise de son multicanale au cinéma a visé dans une première étape, à reproduire ce que l'on voit (ou ce qui va arriver !) à l'écran. Le point de vue est donc en général celui du héros. La structure sonore ainsi que le contenu sonore se trouvent liés dans une perspective relativement large. La modalité d'écoute dans une salle de cinéma s'apparentant plutôt à une écoute d'alerte, donc primitive, le spectateur auditeur n'accepte pas facilement d'être perturbé dans son système de représentation sonore. Dans le cas d'une écoute de « *pleine conscience* » que peut apporter l'espace sonore binaural, l'espace factuel rectangulaire de l'image vole en éclat, pour ne devenir qu'un support aux manques de l'espace sonore... **Ainsi le pont de vue sonore subit un déplacement vers le spectateur !**

Dans la prise de sons et le mixage « classique » pour un film stéréo ou multicanal, les rapports entre l'image et la bande sons, sont intimement corrélés (rapports de plans image/son, localisation du son par rapport à l'image, hors champ annonciateur d'un événement...). Même l'immersion surround qu'offre Dolby, est minimisée afin de ne pas perturber l'image. La géographie sonore, si importante en réalisation pour une écoute multicanale, perd une partie de son sens dans un espace sonore binaural nomade... **En effet, si le son est au service de l'image dans une approche multicanale « classique », celui-ci se trouve inversé dans le cas d'une écoute binaurale sur support nomade (d'où l'impression de décrochage !).** De fait, l'image n'étant plus qu'une aide à l'écoute (afin de palier certains artefacts de l'espace sonore), elle perd sa prédominance sur la narration. Le son est libéré de ses contraintes par rapport à l'image car celle-ci, de taille limitée, immergée dans le flux continu de la « réalité », est amoindrie dans son impact formel. Chaque écoute du programme nomade est une écoute nouvelle, une expérience synesthésique renouvelée. Le mixage naturel (par effet de masque) trouble le point d'écoute, on s'interroge alors, sur ce que l'on entend vraiment ! Cette libération par rapport à l'image introduit l'introspectif par le détail sonore binaural. En effet le point de vue du détail, de la proximité, de la description sonore et sensible des espaces clos est une des spécificités de l'espace sonore binaural. **Ceci est certainement perturbant mais c'est cette prédominance du détail sur le tout qui participe à la réalité augmentée de ce type d'écoute.**

b. Des programmes spécifiques à concevoir.

Une série TV, un film de cinéma (documentaire ou fiction), se singularisent par la notion d'enjeux. Celui-ci est en effet la base de tout axe narratif et le spectateur est intentionnellement soumis à sa résolution. Pour tout ce qui est programme pour la télévision, *l'enjeu est uniquement signifié par la parole*⁷⁰, et dans le cadre de séries TV, il est constamment rappelé au cours de l'épisode afin d'éviter tout « décrochage » du spectateur. Le son a ainsi une place prédominante sur l'image pour le déroulement narratif lors d'une production pour la télévision. En ce qui concerne le cinéma, le son étant asservi par l'image, l'enjeu sera décliné également par le son mais aussi montré par l'image. De plus l'enjeu n'est plus systématiquement externe (comme le plus souvent dans les programmes TV) mais aussi interne (ses « fantômes intérieurs », utilisation des plans subjectifs...).

Que ce soit pour la télévision et le cinéma, on le constate le plus souvent, l'intention première est l'histoire narrative, hors pour ce qui concerne les désirs du spectateur d'un programme sur une application nomade, c'est d'avantage une expérience sensorielle et synesthésique qui est recherchée !

⁷⁰ Vincent Colonna « L'art des séries TV », Payot, 2010

- Une prise de son à anticiper

Un des atouts de la prise de son en mode binaural (c'est-à-dire avec une tête) est d'assurer une certaine continuité sonore lors des plans séquences (celle-ci pouvant être rendue plus difficile en stéréo). De plus, comme vu précédemment, la translation du point d'écoute vers le spectateur redonne à celui-ci un rôle central et introspectif. Ce point d'écoute singulier oblige donc à une réflexion en amont afin de déterminer quelles parties du film peuvent être réalisées en binaural ou non ? Car le rendu binaural trouve un sens tout particulier dans la focalisation de l'écoute et le discernement des multiples informations sonores spatialisées. B. Lagnel utilise notamment l'enregistrement binaural associé au couple XY afin d'obtenir, dans un premier temps, une diffusion stéréo d'extra largeur (supérieure au couple AB). La diffusion binaurale et multicanale restant possibles sans mixage supplémentaire.

- Un mixage approprié

Le système (XY + binaural) oblige à une évaluation des niveaux lors du mixage. En effet l'enregistrement binaural apporte de l'externalisation (mais aussi un manque de frontal) tandis que le couple stéréo de l'internalisation (stéréo classique). Le dosage des niveaux doit se faire en fonction de la typologie de film (champs clos ou libre, paysage sonore ou scène parlée...) avec une implication du réalisateur car de ce niveau aura aussi une influence sur le point d'écoute.

- L'importance du hors champ « visuel » et le silence

Le hors champ reste profondément attaché à l'image, c'est l'espace d'imagination laissé libre par l'image et que prend alors en charge le son. « L'image est perçue dans un continuum temporel de découverte planifié en deux dimensions. L'audition, en plus de son caractère omnidirectionnel, reçoit les informations dans une seule et même simultanéité temporelle. D'où les couches sur imprimées et non l'adjonction de plans sonores consécutifs avec coupes, morsures et césures. L'ensemble de ces événements ayant une origine commune, la spatialisation des éléments in sera effectuée mentalement dans la tête du spectateur et non physiquement par le seul et unique haut-parleur. Cela aura au moins l'avantage de focaliser l'attention auditive en ce seul point qu'est le centre de l'image. Concernant le off, le spectateur perçoit physiquement in, une source qui, sur le mode cognitif et contextuel, se localise hors image. Le hors-champ sonore devient donc très hypothétique en mono puisque campé sur le même terrain que le in. Le son off, alors assujéti au in, ne dispose comme degré de liberté que d'une seule dimension : la proximité ou l'éloignement lié au niveau sonore et la relation son direct, son réverbéré. » La notion de hors champ sonore pour des utilisations en mode « nomade » devrait être entièrement repensé et non extrapolée d'une simili conversion du multicanal 5.1 en mode binaural avec un convertisseur.

L'évolution dans un futur proche de « **l'head tracking** » devrait totalement modifier les conditions du hors-champ en consolidant le système binaural image-nomade. En effet le système binaural reste pour le moment un dispositif « fragile » et la moindre variabilité dans le processus peut entièrement modifier la spatialisation (position du casque, dichotomie image/son). La spécificité de cet espace sonore « matériel » doit être aussi pris en compte dès la conception, pour la construction du hors champ. Le hors champ dans un système binaural devrait ainsi pouvoir donner toute son **importance aux détails sonores** ! L'écoute nomade a enfin comme spécificité de supprimer un des « hors champs sonores » possibles, c'est-à-dire la gestion des silences. Si le silence est un moyen narratif utilisé en tant que mise en abyme sonore où l'impact sensoriel est puissant, celui-ci n'intervient quasiment jamais en écoute nomade. En effet l'environnement extérieur (visuel et sonore) est forcément participatif (plus ou moins suivant

« Lorsque, entrant dans une chambre anéchoïde, aussi silencieuse qu'il est techniquement possible en 1951, on découvre qu'on entend deux sons créés non intentionnellement par soi-même (l'opération systématique des nerfs, la circulation du sang), alors la situation dans laquelle de toute évidence on se trouve n'est pas objective (son silence), mais plutôt subjective (uniquement les sons). »

John Cage, Silence, 1961,
Middletown, Connecticut
Wesleyan University press

le type de casque utilisé) et empêche de la même, toute possibilité de silence. Même si celui-ci, tel que nous le démontre John Cage en 1951, n'existe pas en tant que tel dans un environnement « vivant », la posture de l'écoute nomade nous oblige à une gestion singulière de ce manque de son, par rapport à un mixage habituel pour salle de cinéma.

- Prise en compte des fréquences

L'immersion par les graves, si facilement réalisable en multicanal 5.1, est difficilement envisageable en écoute binaural car on se heurte aux systèmes de restitution en basses fréquences (pas de caisson de basses). Pour ce qui est des hautes fréquences, le mixage à l'aide d'un spatialisateur (par ex « long-cat »), afin de palier certains artéfacts de l'espace sonore binaural, pourra être aussi utilisé.

- Une gestion de la dynamique singulière

L'environnement nomade, comme vu plus haut, offrant une large gamme de stimuli et avec la mise en place de la norme de diffusion internationale R128, la gestion de la dynamique devra être adaptée à ce type d'écoute. Le travail d'adaptation de la R128 à un environnement nomade reste à faire.

- Des images en conséquence

Si des séquences comme la scène de débarquement de « Il faut sauver le soldat Ryan » ont eu un tel impact sur le public, c'est bien pour le côté « immersif » de la situation, avec des images subjectives. Dans le cas d'une diffusion nomade de l'espace sonore binaural, ce sont les détails qui seront à privilégier...Filmer l'intime, les lieux clos, éviter les grands espaces...L'écran ne se comportant comme un détail de plus dans une réalité foisonnante. **Le détail faisant parti du tout et refusant la vision d'ensemble...**

IV. Les fragilités du système et les précautions à prendre.

Le choix déterminant du casque :

Le rendu de l'espace binaural est inhérent à une multitude de facteurs : œuvres présentées, influences du monde extérieur ; mais aussi celui du type de casque et sa position sur les oreilles est primordial ! En effet le choix d'un casque fermé ou ouvert (et sa position sur les oreilles !), aura une influence directe sur un mixage finale qui en fin de compte dépendra du hasard et circonstances plus que d'une pré-détermination...L'arrivée sur le marché des casques avec « head tracking », qui grâce à la miniaturisation des gyroscopes vont considérablement durcir le système binaural. Cette avancée technologique aura, à mon avis, un impact plus important sur nos perceptions de l'espace binaural-image que l'amélioration « plus difficile » de la synthèse binaurale...

La question du respect de l'œuvre :

L'espace binaural-image a comme écueil possible de donner un surplus d'informations, qui peuvent être nuisibles à la lisibilité de l'œuvre. En effet si la 3D pour l'image n'a pas eu le succès escompté, la cause est peut-être liée à la surabondance d'informations et à la diminution du hors champ (donc de l'espace de liberté indispensable au spectateur de cinéma !). L'afflux de « matériaux sonores » pouvant entraîner ce même risque ! Mais à la différence de l'image, le son, lui, nous suggère l'abstraction alors que l'image nous enchaîne au concret, à la réalité. De plus contrairement à la 3D pour l'image, c'est la notion de hors-champ qui devient d'une tout autre nature dans une application nomade. L'imagination se trouve ainsi libérée par le sonore et le hors champ n'est plus réduit à un apport narratif mais à une prise de conscience de la « matérialité » des détails.

Quelles frontières pour la réalité virtuelle ?

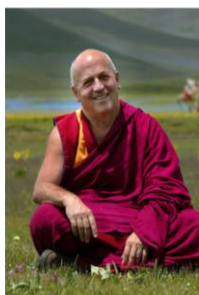
Si l'espace sonore binaural et l'adjonction de « l'head tracking » nous permettent d'atteindre un aspect de réalisme jamais égalé, il se pose désormais la question des limites du réel. Hors ces limites deviennent de plus en plus floues. Ainsi Lors des tests, j'ai parfois pu constater le désarroi des personnes lorsque le réalisme du rendu sonore se confondait avec le réel ! (Le cri des enfants vient-il réellement derrière moi, une machine est-elle en train de fonctionner ?). « le virtuel se veut au plus proche de son original quand il tend vers la simulation. De par son lien originnaire et aliénant à la réalité, le virtuel diffère également de l'imaginaire parce qu'il possède une texture particulière corrélée aux propriétés sensorielles du dispositif qui le donne à voir, produisant par-là même des effets tangibles⁷¹». Ainsi même si l'accoutumance arrive relativement rapidement, la frontière reste incertaine...

⁷¹ Thomas Gaon, Psychologue clinicien, Membre fondateur de l'Observatoire des Mondes Numériques en Sciences Humaines (OMNSH)

V. Une évolution du spectateur-auditeur vers un espace « méditatif »

*« Une attention
bien centrée sur
son objet, libre
de tout parti pris,
aiguillée par une
vision pénétrante
et une analyse
logique,
constitue une
aide importante
pour évaluer
correctement la
réalité. »*

*Matthieu Ricard
(moine bouddhiste)*



Matthieu Ricard

Le docteur Tomatis, dès les années 60 avait théorisé sur les défaillances d'écoute (perturbations émotionnelles) qui peuvent induire des troubles physiques. De même les battements binauraux (utilisés pour des exercices méditatifs) pourraient aussi nous aider à retrouver un équilibre perturbé. Si les études comme celles de Tomatis et celles qui portent sur les battements binauraux sont controversées par la communauté scientifique, il convient de noter que l'état de conscience modifié, l'état méditatif auquel on accède ne peut être ignoré. Hors il a été démontré que ces états méditatifs (Jean-Gérard Bloch, responsable du Diplôme universitaire « Médecine, méditation et neurosciences » à l'Université de Strasbourg) induisent un meilleur équilibre du métabolisme et une meilleure gestion émotionnelle. En effet l'expérience de l'écoute binaurale pourrait être qualifiée, d'expérience de « pleine conscience », permettant d'ouvrir un des chemins d'accès à l'état méditatif (Selon les préceptes de Matthieu Ricard). Cette immersion provoquée par l'espace sonore, cette sensation de « naturelle », cette explosion du cadre du hors-champ où le rôle de l'image n'est limité qu'à sa fonction « basique » de validation, et de palliatif des artéfacts de l'espace sonore (dans le cas qui nous concerne où les HRTF ne sont pas prises en compte.), pourraient ainsi initier cette attention particulière propre à un environnement méditatif. Dans le cadre d'une utilisation nomade dans les transports en commun, ces effets seraient alors bénéfiques sur notre sociabilité en environnement urbain...

L'impact physico-psychique de l'écoute est une piste à ne pas négliger mais qu'il convient encore d'explorer... Chaque auditeur, avec nécessité d'adaptations, prendra ainsi conscience de sa position dans l'espace, du temps présent... Ces états de conscience augmentés (à l'instar des différentes réalités augmentées du monde virtuel) auront inévitablement un impact sur la gestion émotionnelle des auditeurs.

"La méditation de pleine conscience a changé ma manière de soigner"

PROPOS RECUEILLIS PAR ELISABETH MARSHALL

CRÉÉ LE 05/02/2013 / MODIFIÉ LE 07/02/2013 À 16H21



Réactions 3



S'abonner



C'est en France une grande première. Le 10 février prochain s'ouvrira, à Strasbourg, un diplôme universitaire (DU) "Médecine, méditation et neurosciences". C'est la première fois que la méditation entre à l'université. Jean-Gérard Bloch, rhumatologue, instructeur MBSR, est à l'initiative de ce diplôme. Il s'attache à promouvoir une autre approche de la médecine du corps-esprit. Interview.

VI. Conclusion

L'hypothèse de départ de cette étude était de penser que les défauts de l'espace sonore binaural seraient facilement ressentis par la plupart des personnes testées et que l'ajout du facteur « image » devait permettre de discerner aisément son influence sur les appréhensions de l'espace sonore. Hors parmi la quarantaine de retours (ce nombre est malheureusement faible pour une approche réellement statistique), seul un petit nombre d'auditeurs (environ 20%) ont rapporté les manques caractéristiques de l'espace binaural (manques liés à la non individualisation des indices monoraux). Par contre, pour la quasi-totalité des auditeurs, l'impact de l'image « nomade » dans le champ de l'espace sonore binaural a introduit cette distorsion du plan focal qui modifie le point d'écoute et les rapports de modalité entre le son et l'image (point d'écoute à prendre en considération dans le cas de futures réalisations). Afin de palier le taux d'incertitude des résultats, il conviendrait aussi de confirmer les influences du champ d'enregistrement (clos, libre) et de la typologie du film (abstraction, concret), par la réalisation de nouveaux films tests. La séparation entre auditeurs « avertis » et « non avertis », c'est-à-dire ayant un entraînement à l'écoute, ne s'est pas révélée d'une influence décisive pour une exploitation phénoménologique des résultats. Au cours de l'étude, le facteur « âge » s'est révélé plus pertinent pour de futures investigations. En effet les jeunes enfants ont montré une posture d'écoute attentive et non intellectualisée. Des qualités nécessaires pour une meilleure restitution. De plus c'est vers cette nouvelle génération (avec les programmes de l'éducation nationale des tablettes pour tous !) qu'il conviendrait de connaître les évolutions comportementales. La plus grande plasticité du cerveau (liée à leur jeunesse) devant certainement contribuer à une amélioration de leur acuité auditive (telle observée chez les aveugles) et une ouverture possible vers une conscience modifiée (état d'éveil).

Avec la prise de conscience de ce nouvel espace de diffusion, c'est aussi le rapport avec la narration qui se trouve modifié. Celle-ci se faisant plus introspective, plus proche du sujet (un effet maximum du son binaural pour des distances d'enregistrement inférieures à 2m). Le subtil passage d'une écoute « d'internalisation stéréo » (par exemple stéréo XY) à une écoute « d'externalisation binaurale » (enregistrement binaural) étant des choix de réalisation. De fait cette plus grande autonomie du son par rapport à l'image doit être introduite dès la phase d'écriture du scénario, si on ne veut pas que l'œuvre audiovisuelle en soit dénaturée. Dans l'espace binaural-image « nomade » l'image influence moins le spectateur, elle valide et conforte des sensations, des « matérialités » que l'espace sonore binaural fait ressentir au spectateur. C'est un peu comme revenir à l'écriture des scénarios des années 50 où le sonore avait sa place spécifique ! Si le point de vue subjectif (ex la séquence du débarquement dans le film « Il faut sauver le soldat Ryan ») a souvent été privilégié pour la création d'un point de vue « à la place du héros », celui-ci n'est plus suffisant dans le cadre de ce nouvel espace. Le point d'écoute étant redonné au spectateur, la gestion des silences et des stimuli extérieurs sont aléatoires. La réalisation et le mixage s'en trouveront alors profondément modifiés (limiter l'information sonore, éviter la trop grande dynamique...).

La direction prise par les industriels pour la mise au point de plug-in visant à transformer un programme multicanal en binaural, n'est qu'un palliatif par rapport aux efforts de production qu'il reste à faire (Certains producteurs en ont conscience tel Neal Edelstein, en réalisant des produits directement pour applications nomades). C'est aussi avec une évolution technique comme le « head tracking » (suivi des sources sonores lors des mouvements de la tête), qui en « durcissant » l'espace sonore binaural modifiera les interactions image/son. Si les évolutions « techniques » passent par la recherche de l'industrie des jeux vidéo (neuro feedback par des casques, envoi de sons quantifiés avec l'application Wwise d'audiokinetic...), il reste que l'évolution « physiologique » du spectateur dans l'espace binaural/image « nomade » ne pourra s'appréhender qu'avec le temps.

Bibliographie :

Penser les Sons: Psychologie Cognitive de l'Audition, Oxford University Press, Oxford 1993

BLAUERT, Jens, Spatial hearing: The Psychophysics of Human Sound Localization, Cambridge, The MIT Press, 1983.

Woodworth, R. S. Experimental Psychology. New York: Holt, Rinehart, Winston, 1938

Mohammed Ellick et Alain Delhaise, "1 Son, 2 Oreilles et 3 Dimensions !" Réalisation n°72, mars-avril 2013

Raphaël GREFF, « Holophonie binaurale -Spatialisation sonore sur réseaux de haut-parleurs circumauraux », univ Paris VI, 2008

Jacques Attali « l'ordre cannibale », Publication Grasset et Fasquelle, 1979

Jacques Attali « l'homme nomade », Editions Fayart, 2002

E. Leipp, « La machine à écouter – Essai de psycho-acoustique », éditions MASSON, 1971

François J Bonnet, « Les mots et les sons – Un archipel sonore », Editions de l'éclat, 2012.

Denis Mercier, « Le livre des techniques du son » Tomes (4eme édition) 1,2 et 3, Editions DUNOD, 2010

Pierre Schaeffer, « Traité des objets musicaux – Essais inter disciplines », Editions SEUIL, 1998

Laurent Givernau, « Etude de la perception de la localisation pour une prise de son acoustique en différence d'intensité en 5.1 », mémoire CNAM, 2000

« SATIS et FISM 2011 », powerpoint de Bernard Lagnel, ingénieur du son à Radio France.

Jean-Paul Thibaud, « Variations d'ambiances, Processus et modalités d'émergence des ambiances urbaines », Centre de Recherche sur l'Espace Sonore et l'Environnement Urbain, octobre 2007.

Brice Cannavo « Pour un Théâtre de l'Obscurité », Mémoire de fin d'étude dirigé par Marie-Jeanne Wyckmans, 2007

Jean-Marc LYZWA, « Utilisation de techniques binaurales et transaurales en prises de son et en post productions multicanales 5.1. », Conférence AES - Sao Paulo – Brésil, mai 2009

Laurent Simon, « Dispositif d'Aide à la Spatialisation basé sur des critères perceptifs », Stage de Recherche, Master Recherche ATIAM, Université Pierre et Marie Curie, IRCAM, Juin 2006

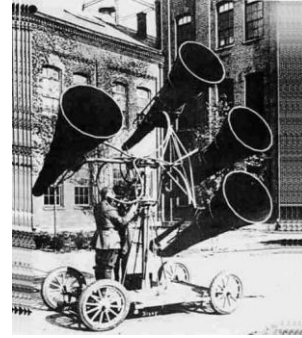
Sylvain Busson, « Individualisation d'indices acoustiques pour la synthèse binaurale » Université de la méditerranée Aix-Marseille II, 2006

Planches séminaire binaural « orange labs », 2012

<http://charles.platel.pagesperso-orange.fr/disque/binaural.htm>

Référence des figures

- BEC 12 <http://legacyeffectsblog.com/beck-binaural-head/>
- BLA 83 Blauert, J., *Spatial Hearing*. The mit press edition, 1983
- BUS 06 Sylvain Busson ,« Individualisation d'indices acoustiques pour la synthèse binaurale » Université de la méditerranée Aix-Marseille II, Ecole Doctorale de MECANIQUE, PHYSIQUE ET MODELISATION, 2006,p23
- CAN 07 Brice cannavo« Pour un Théâtre de l'Obscurité », Mémoire de fin d'étude dirigé par Marie-Jeanne Wyckmans,2007
- CHAT 09 <http://loeildeschats.blogspot.fr/2009/03/fantomes-la-rencontre-sound-mirrors.html>
- GREF 08 Raphaël GREFF , Holophonie binaurale -Spatialisation sonore sur réseaux -de haut-parleurs circumauraux Université PARIS VI,2008
- JIM 08 <http://binaural.jimdo.com/>
- LAG 13 Bernard Lagnel, « L'enregistrement Binaural et sa petite histoire », <http://www.duanrevig.com/index.htm>, 2013
- LAN 87 Th. du Moncel, *Le téléphone*, Librairie Hachette, 1887. (Coll. A. Lange).
- MOR 12 Patricia Moreau, <http://fr.scribd.com/doc/125918600/Musique-et-plasticite-cerebrale>, 2012
- PAR 12 Gaëtan PARSEIHIAN, L'UNIVERSITÉ PARIS 6,Sonification binaurale pour l'aide à la navigation,2012
- OST <http://tpeosteophonie.wordpress.com/lostophonie/>
<http://tpeosteophonie.wordpress.com/les-applications-de-losteophonie/>
- NASA 01 Ferdinand W. Grosveld Lockheed Martin Engineering and Sciences, Hampton, VirginiaBinaural Simulation Experiments in the NASA Langley Structural Acoustics Loads and Transmission Facility, 2001
- ORA 13 Séminaire audio 3D, Orange Labs R et D, 2013
- THI 07 Jean-Paul Thibaud ,Centre de Recherche sur l'Espace Sonore et l'Environnement Urbain, Variations d'ambiances et processus et modalités d'émergence des ambiances urbaines, pp14-15, 2007
- UBI 10 <http://audioposttidbits.tumblr.com/post/6971991029/this-is-a-video-following-the-sound-team-for-the>



Glossaire :

L'indice spectral, pour ce qui est de la localisation sonore, correspond aux modifications interférentielles des fréquences du son émit par les différentes parties du corps et du pavillon de l'oreille. Notre cerveau (tel les transformés de Fourier) réalise une déconvolution du spectre afin de déterminer des indices spectraux liés à la morphologie et à la position de la source. Il est même montré que les indices spectraux seraient stockés en mémoire et que la détermination de la source serait effectuée par identification après déconvolution (Middelbrooks – 1992)

Le battement binaural : « Le battement binaural est un phénomène neurologique théorisé pour la première fois en 1973 par Gerald Oster. Ce psychologue américain découvre qu'en écoutant deux sons de deux fréquences différentes dans chaque oreille, le cerveau réagit en émettant des ondes spécifiques, produisant une sorte d'hypnose sonore sur l'auditeur. Bien que peu d'études leur aient été consacrées, les battements binauraux auraient des vertus apaisantes, relaxantes, voire antidépressives. Alors qu'ils sont utilisés par certains psychologues américains dans le traitement de maladies comme l'autisme, leur efficacité reste très décriée en Europe, notamment en France. » (source « le parisien »)

La synthèse binaurale : La technologie binaurale est basée sur la diffusion d'un couple de signaux binauraux, l'un étant destiné au canal droit, l'autre au canal gauche. Les signaux binauraux peuvent être obtenus de deux manières : par la prise de son directe, effectuée au moyen de deux microphones insérés à l'entrée du conduit auditif d'un individu ou d'un moule de tête à la morphologie standard (tête artificielle) ou par calcul du signal, la synthèse binaurale. Le principe de cette technique repose sur la reproduction au niveau des oreilles d'un auditeur de toutes les informations nécessaires pour la construction d'une image sonore extra crânienne en filtrant un signal monophonique au travers des filtres binauraux.

Head Related Transfert Function (HRTF) : Le niveau et la phase des ondes acoustiques sont modifiés en se propageant du milieu extérieur jusqu'au tympan. Ces modifications de niveau et de phase, qui sont particulières à chaque fréquence et à chaque angle d'incidence des ondes sonores, correspondent à la fonction de transfert de l'oreille externe et sont un paramètre capital dans la localisation d'une source sonore.

(source : Sylvain Busson ,« Individualisation d'indices acoustiques pour la synthèse binaurale » Université de la méditerranée Aix-Marseille II, 2006)

Le « head tracking » : Le Head-Tracking est une invention qui permet le suivi des mouvements de la tête d'un individu. Deux émetteurs sont placés sur la tête de l'individu et envoient en permanence des signaux par voie d'onde à un récepteur couplé à un processeur, lequel en déduit en temps réel leurs positions dans l'espace en trois dimensions. Suivant les méthodes de transmission utilisées, ces données peuvent être tirées de l'incidence des rayons émis, de leur temps d'arrivée... Les émetteurs étant placés dans des positions connus sur la tête (sur les oreilles par exemple), on obtient donc la position de la tête dans un repère 3D, ainsi que l'incidence du regard et l'angle d'écoute de l'individu. Appliquée à réalité virtuelle, cette technologie permet l'adaptation de la synthèse binaurale en temps réel pour un joueur en mouvement dans un espace tridimensionnel, par l'utilisation de casques spéciaux équipés d'émetteurs.

L'holophonie binaurale : Elle a pour but d'utiliser les pavillons d'un auditeur en laissant ces derniers codés naturellement les indices de localisation qui leur sont liés et qui sont propre à l'auditeur. Il s'agit donc d'appliquer des techniques holophoniques, pour reconstruire les ondes arrivant sur chacun des deux pavillons d'oreille à l'aide de deux réseaux de sources secondaires distincts, englobant chacun des pavillons. L'approche holophonique offre un découplage des indices de localisation liés aux pavillons de ceux liés au reste du corps : les deux réseaux diffusent des signaux qui contiennent les indices associés à la tête et au corps, entre autre les indices interauraux classiques (ITD, ILD), et l'onde recrée par chacun des réseaux est modifiée par chacune des deux oreilles qui codent donc naturellement les indices spectraux pavillonnaires propre à l'auditeur. Le problème d'individualisation des HRTF est simplifié, dans le sens où la diffusion ne s'effectue plus au niveau des conduits auditifs, mais en amont des pavillons : on s'affranchit ainsi du problème complexe de modélisation des modifications spectrales dues aux pavillons. Cependant, la mise en oeuvre de l'holophonie binaurale est plus complexe que celle de techniques binaurales classiques, car on ne s'efforce plus de caractériser le champ simplement en deux points (les tympans ou l'entrée des conduits), mais sur deux surfaces, à la position de chaque source secondaire.

L'atténuation géométrique : elle est due au fait que l'énergie d'une source sonore est répartie sur une surface de plus en plus grande à mesure que l'auditeur s'éloigne de la source.

L'atténuation par dissipation atmosphérique : Elle résulte de la perte sous forme de chaleur d'une fraction de l'énergie des molécules d'air consécutive à leurs frottements les uns contre les autres sous l'effet de la propagation sonore ; l'atténuation par dissipation thermique dépend de la fréquence et de l'humidité ; en règle générale, elle augmente quand la fréquence croît.

Long cat : Formé de spécialistes de l'imagerie 3D temps-réel et du traitement du signal audio, Longcat développe des solutions d'écriture et des technologies de rendu sonore immersif pour la production de contenus audio et la simulation industrielle.

Oreille ipsilatérale : oreille du même côté que la source.

Oreille contralatérale : oreille du côté opposé à la source.

Filtrage en peigne : Il est un produit résultant de deux mêmes ondes (ou similaire) étant mélangés avec un léger décalage entre eux.

Les perceptions : Pour Helmholtz, les impressions qui servent à nous former des représentations des objets extérieurs sont des perceptions

La proprioception : La proprioception (du latin proprius signifiant « propre » et du mot « perception ») désigne l'ensemble des récepteurs, voies et centres nerveux impliqués dans la somesthésie (sensibilité profonde), qui est la perception de soi-même, consciente ou non, c'est-à-dire de la position des différents membres et de leur tonus, en relation avec la situation du corps par rapport à l'intensité de l'attraction terrestre. On emploie aussi le mot kinesthésie, avec un sens parfois légèrement différent.

La différence interaurale de temps (ITD) : La différence de temps d'arrivée de l'onde sonore entre les deux oreilles est l'indice de localisation prédominant. Plus cette différence tend vers sa valeur maximale, plus la source est latéralisée. La contribution majeure de l'ITD se situe en basses fréquences. En effet, au-delà de 1500Hz, fréquence à laquelle la longueur d'onde des signaux est du même ordre de grandeur que la distance interaurale, la différence de phase entre les deux oreilles devient une information ambiguë, car celle-ci n'est plus comprise dans un seul cycle. En hautes fréquences, il semblerait que l'ITD ne soit plus donnée par la phase mais estimée à partir des modulations de l'enveloppe d'amplitude des signaux de pression présents aux tympans

La différence interaurale de niveaux (ILD) : La différence de niveaux entre les signaux reçus par chacune des oreilles, l'ILD, est l'indice de localisation complémentaire de l'ITD, et contrairement à celui-ci, devient une information importante en hautes fréquences, au-delà de cette même limite approximative de 1500Hz. En effet, le phénomène de diffraction dû à la présence de la tête devient important lorsque la longueur d'onde des sons incidents devient faible par rapport aux dimensions de la tête. Cette dernière joue alors le rôle de masque et des différences de niveaux entre les deux oreilles apparaissent.

Les Indices spectraux monauraux : Les travaux qui ont examiné la capacité d'un auditeur à localiser les sons en utilisant l'information présente à une seule oreille montrent à la fois la suffisance des indices spectraux monauraux et la nécessité des indices spectraux monauraux. En remplissant les cavités de l'oreille ipsilatérale, la précision de localisation en élévation et la discrimination entre les hémisphères avant et arrière sont fortement dégradées. La localisation auditive à partir des indices spectraux laisse supposer que le système auditif effectue la déconvolution du spectre de la source et des indices spectraux liés à la morphologie et à la position de la source. Les indices spectraux seraient donc stockés en mémoire.

La différence interaurale de spectre (ISD) : Une écoute binaurale offre de meilleures performances de localisation en élévation ainsi qu'une meilleure discrimination avant/arrière qu'une écoute monaurale, même dans le plan médian. Ceci semble indiquer que le système auditif analyse conjointement les informations spectrales monaurales ou qu'il utilise un indice tel que la différence de spectre. L'ISD seul ne suffit pas à maintenir une bonne localisation en élévation et à distinguer correctement l'avant de l'arrière

Les sensations : Pour Helmholtz, les impressions qui apparaissent dans des états particuliers de notre corps sont qualifiées de sensations

Synesthésie : La synesthésie (du grec syn, avec (union), et aesthesis, sensation) Trouble psychologique qui fait faire au cerveau une association de différentes sensations qui ne sont pas liées entre elles [Psychologie]. (<http://www.linternaute.com/dictionnaire/fr/definition/synesthesie/>)

La diffusion transaurale (source <http://www.euphonia.fr/transaural.htm>): « Basée sur le principe de la re-création au voisinage des oreilles de l'auditeur d'un champ sonore cohérent, la technique transaurale permet l'écoute en 3 dimensions sur 2 enceintes acoustiques seulement.

Le traitement des signaux binauraux issus de la tête artificielle permet la restitution 3-D par la technique de l'annulation des chemins croisés (cross-talk cancelling). A la différence de l'écoute stéréophonique qui prend en compte les "fuites" qui se produisent lors de l'écoute sur haut-parleurs (chaque oreille de l'auditeur perçoit les signaux issus des haut-parleurs droite et gauche), mais dans laquelle l'image sonore est limitée en largeur à la "rampe stéréophonique" (la distance qui sépare les enceintes droite et gauche), on cherche ici à recrer les conditions de l'écoute dichotique : l'oreille droite doit percevoir uniquement le signal qui lui est destiné, idem pour la gauche, comme dans le cas de l'écoute au casque.

On synthétise donc un jeu de filtres d'inversion destinés à compenser les chemins croisés (les fuites). Ces filtres sont appliqués aux signaux issus des microphones gauche et droite de la tête artificielle avant de les envoyer vers les haut-parleurs droit et gauche. »

Wwise audiokinetic(Wave Works Interactive Sound Engine) :
Application permettant le sound design dynamique pour le jeu vidéo. Il dispose d'outil de création audio de Audiokinetic et un moteur audio multi-plateforme.

ANNEXES

- Annexe 01 : Programme de recherche BILI
- Annexe 02 : Extrait d'études NASA sur le son binaural
- Annexe 03 : Introduction à la cognition auditive
- Annexe 03 : Extraits de feuilles de résultats de tests
- Annexe 04 : Feuille de calculs des pondérations
- Annexe 05 : La diffusion transaurale d'un enregistrement binaural
- Annexe 06 : La synthèse transaurale
- Annexe 07 : les HRTF head-related transfer function
- Annexe 08 : Un exemple de spatialisateur
- Annexe 09 : Les caractéristiques des micros DPA4060
- Annexe 10: Les caractéristiques du zoom H4n
- Annexe 11 : La méthode TOMATIS
- Annexe 12 : La plasticité du cerveau par Patricia Moreau

**CONSERVATOIRE
NATIONAL SUPÉRIEUR
DE MUSIQUE ET
DE DANSE DE PARIS**

Annexe 01

date du document : 17/11/2012

Rédacteur du document : Catherine de Boishéraud

Programme de recherche

BiLi (*Binaural Listening*)

Résumé du programme :

L'écoute binaurale (Binaural Listening : BiLi) désigne l'écoute au casque ou à l'aide d'oreillettes placées dans chaque oreille. Ce mode d'écoute a suivi l'explosion du marché des Smartphones et tablettes. Lentement et sûrement, à mesure que l'audience dérive vers ces nouveaux équipements, l'écoute binaurale gagne du terrain et symbolise la notion d'expérience personnelle. Or de nombreuses recherches, menées depuis les années 60, ont permis de constater la capacité de chacun à saisir l'ensemble d'un champ sonore en 3 dimensions à l'aide d'une simple paire d'oreilles.

Aujourd'hui, grâce à la puissance des processeurs disponibles, il devient possible d'envisager une synthèse binaurale personnalisée pour fournir à chaque auditeur au casque la sensation qu'il baigne dans un espace sonore tridimensionnel et complètement réaliste.

English summary:

Binaural listening (BiLi) signifies listening with a head set or in-ear monitor placed in each ear. This manner of listening developed with explosion of Smartphones and tablets on the market. Slowly but surely, as the public moves more and more towards use of this equipment, binaural listening is gaining ground, symbolising the personal nature of the listening experience. Nevertheless, research engaged since the 1960s has shown the capacity for everyone to hear the full three-dimensional soundscape with their own two ears.

Today, thanks to the strength of the available processors, it has become possible to envision a personalised binaural synthesis, so as to furnish each and every head-set listener with the impression that he is surrounded by a completely realistic three-dimensional sound space.

Présentation/Objet :

Le projet BiLi est un projet de recherche et développement industriel débouchant sur la possibilité pour tout un chacun de bénéficier d'une écoute au casque – écoute binaurale – qualitative et personnalisée, donc comparable à sa perception naturelle. Nous sommes en effet tous dotés d'une "carte d'identité morphologique" dont notre cerveau se sert afin de percevoir notre environnement sonore dans toutes les directions à l'aide de nos deux seules oreilles. Cette forte capacité d'immersion sonore peut permettre à l'écoute binaurale de devenir le premier vecteur d'écoute tridimensionnelle, également tout indiquée pour renforcer l'expérience radiophonique et surtout télévisuelle dans le cadre d'une utilisation en mobilité, combinée à un écran de taille réduite.

Le projet BiLi permet la conception d'applications professionnelles et grand public d'écoute au casque personnalisée. L'élément central du projet est la conception d'une échelle qualitative pertinente afin d'associer les technologies les plus efficaces en fonction des usages. Un professionnel de la production sonore saura investir dans un matériel doté d'une puissance de calcul suffisante ou nécessitant une phase de calibration complexe pour obtenir une écoute de très haute qualité, basée sur une simulation très fidèle de sa morphologie. A l'opposé, un particulier souhaitera plus simplement doter son Smartphone d'un lecteur multimédia équipé d'un *process* de personnalisation plus succinct, néanmoins capable de lui faire percevoir au casque des sons provenant de l'avant, de l'arrière ou des côtés.

En 2012, bien que l'écoute binaurale personnalisée soit une réalité concrète en laboratoire ou aux seins de quelques applications militaires ou hifi, il n'existe aucun standard. La rédaction d'un tel standard est l'un des résultats attendus du projet BiLi. Il jettera aussi les bases nécessaires aux échanges des fichiers caractérisant la "carte d'identité morphologique" d'une solution d'écoute à une autre.

Equipe de recherche :

Le pilotage du projet est assuré par France Télévisions.

Le Conservatoire national supérieur de musique et de danse de Paris engage le service audiovisuel et le département son, notamment les enseignants et élèves de la Formation supérieure aux métiers du son. La présence de musiciens et d'ensemble de haut niveau permettra des expérimentations difficiles à obtenir dans un environnement de production pure.

Durée prévue :

3 ans

Importance du projet pour l'établissement :

Depuis 1995, le Conservatoire national supérieur de musique et de danse de Paris, par l'intermédiaire du service audiovisuel, développe des techniques de prise de son et de postproduction pour la restitution multicanal en 5.1. Ce développement fait appel aux techniques binaurales et transaurales.

Ces expérimentations ont permis la réalisation de nombreuses productions audio et audiovisuelles sur un très large répertoire de musiques allant de la restitution d'une scène frontale à celle d'une scène complètement éclatée dans l'espace, et la création d'un *plugin* de spatialisation qui permet de gérer une extra largeur en stéréophonie à 2 canaux.

Cette approche orientée résolument vers la prise de son est cohérente avec l'existence d'un département son et d'une Formation supérieure aux métiers du son où enseignent des professionnels reconnus dans le domaine.

Du fait de techniques de spatialisations de plus en plus performantes, toutes les techniques de captations et de restitution du son prennent en compte la notion d'espace en trois dimensions. D'où la naissance des systèmes multicanaux comme le 5.1, la WFS ou l'ambisonics par exemple.

Pour l'écoute individuelle, le binaural est une solution évidente ne serait ce que dans le cas d'environnements sonores bruyants ou pour ne pas gêner les voisins. La traduction d'un espace multicanal en binaural ou transaural nous paraît donc d'un enjeu stratégique certain.

Au delà de cet aspect stratégique premier, nous voyons 3 raisons particulières de s'intéresser au binaural :

- nos propres recherches nous ont convaincu que des solutions utilisant le binaural/transaural pouvaient être utile en diffusion individuelle, en sonorisation, illustrations et sculptures sonores pour améliorer la précision et la stabilité de la position des sources. Et c'est un domaine que nous espérons développer plus avant.
- ce projet va nous permettre d'entreprendre une vaste campagne d'études comparatives à partir de réalisations audiovisuelles produites en interne ou par nos différents partenaires. Ces études nous permettront en fonction des demandes de monter des programmes ciblés autour d'effectifs musicaux singuliers (jazz symphonique, chœurs multiples, formations spatialisées, ...) tout en adaptant les différentes techniques de prise de son et de post-production afin de valider le rendu sonore, à la fois par des musiciens exceptionnels (solistes, chefs d'orchestre, ...) et par un panel d'ingénieurs du son professionnels.
- le Conservatoire est un établissement d'enseignement : l'implication étroite des étudiants dans toutes ces applications de recherche et de production permet chaque année l'insertion professionnelle de 8 musiciens-ingénieurs du son formés à ces techniques du futur. L'enjeu pour nous est évident, à partir du moment où nous réalisons des enregistrements en multicanal, il est impératif de pouvoir les *down mixer* en binaural pour une écoute individuelle au casque.

Forme et Mise en œuvre :

Le Conservatoire national supérieur de musique et de danse de Paris organisera des séances de comparaison et de validation en utilisant l'écoute experte des ingénieurs du son, des étudiants du département des métiers du son, des musiciens élèves ou professionnels. Ce travail aboutira à la rédaction de mémoires de fin d'études.

Publication/Diffusion :

Afin de favoriser la diffusion des résultats théoriques et pratiques du consortium vers les acteurs du monde audio-professionnel, différentes opérations de communication ou ateliers d'études sur la technologie binaurale seront organisés au cours du projet à l'échelon national à l'occasion de journées d'études, ou à l'échelon international par exemple sous forme de *workshops* au sein des conventions annuelles de l'*Audio engineering society* (AES).

Partenariats :

Grandes entreprises :

- Orange Labs (France Telecom)
- France Télévisions
- Radio France

Petites et moyennes entreprises (PME) :

- Arkamys
- A-Volute
- Digital media solutions (DMS)
- Trinnov Audio

Etablissements d'enseignement et de recherche :

- Conservatoire national supérieur de musique et de danse de Paris
- Institut de recherche et coordination acoustique/musique (IRCAM)
- Laboratoire d'informatique pour la mécanique et les sciences de l'ingénieur (LiMSi-CNRS).

Financements :

Fonds unitaire interministériel (FUI) pour partie.

<http://www.espace-sciences.org/sciences-ouest/310/dossier/immersion-dans-le-son>

sciences ouest

la revue de l'es



L'expérience du projet Bili poursuivra celle réalisée au centre de recherche néerlandais TNO. Elle recréera une structure totalement circulaire à 360 °, sur laquelle seront fixés des haut-parleurs dont l'axe de diffusion passera par les oreilles de l'auditeur, situé au centre.

© ORANGE LABS- JEAN-MARIE PERNAUX / TNO

IMMERSION DANS LE SON

L'écoute au casque est en pleine mutation. Avec neuf partenaires, Orange Labs Rennes réinvente le son en 3D.

Dans les années 50, la stéréophonie⁽¹⁾ était l'innovation. Les acousticiens planchent désormais sur le son binaural ("deux oreilles"). Le principe ? Sous son casque, l'auditeur entend des sons tout autour de lui, à toutes les distances et dans toutes les directions. Il est en immersion sonore. « Le monde de l'audio vit aujourd'hui une révolution, car nous sommes restés très longtemps sur le son stéréophonique », résume Rozenn Nicol, ingénieure de recherche à Orange Labs Lannion. « Avec l'émergence des tablettes et mobiles, que l'on écoute au casque, le son binaural est la grande tendance, estime Marc Emerit, son collègue ingénieur à Rennes. D'ici quelques années, il sera partout. »

Au casque, sur tablettes et mobiles

Le projet Bili (Binaural Listening) démarre cette année. Il associe France Télévision, chef de file du projet, Radio France, Orange Labs, l'Ircam⁽²⁾, le Limsi⁽³⁾ et cinq acteurs du monde de l'audio. « Les programmes sont aujourd'hui visionnés sur des écrans de plus en plus petits, tablettes, smartphones : le regard est attiré ailleurs, explique Matthieu Parmentier, responsable de projets Recherche et développement à France Télévision. L'immersion sonore fidélise le spectateur. Dans un match de foot sur smartphone, les joueurs sont tout petits. Mais si vous avez l'impression sonore d'être au milieu du stade, avec l'ambiance autour, cela change tout ! »

Les chaînes de télévision proposent déjà du son multicanal. Ce son spatialisé (norme 5.1) provient de cinq haut-parleurs dans le salon (à gauche, au centre, à droite, à l'arrière-gauche et l'arrière-droit). Avec le binaural, le casque remplace tous ces haut-parleurs. Pour France Télécom, ce son présente beaucoup d'intérêt.

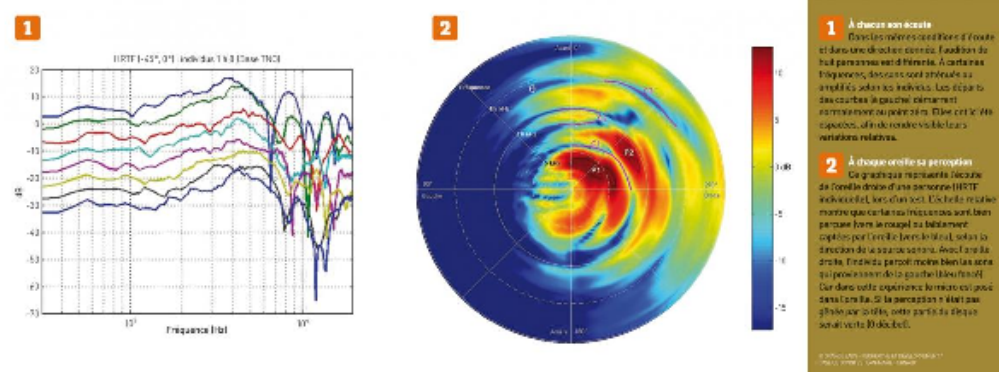
« Nous voulons que les usagers d'Orange profitent du son 5.1 au casque sur les tablettes, les mobiles et la TV connectée », explique Marc Emerit. Une autre application concerne les audios et visioconférences, « pour une meilleure représentation mentale de la réunion dans l'espace, plutôt que de se demander d'où vient la voix qui parle. »

L'enregistrement binaural est simple. Placez deux petits micros dans vos oreilles. La prise de son vous replongera dans le monde sonore où vous étiez. Mais il y a un problème. Si un ami écoute votre enregistrement, il ne localisera pas les sources sonores aux mêmes endroits. Quant à la hauteur des sons par rapport au sol, elle fluctue ! Chaque individu a en effet sa propre perception spatiale des sons : c'est toute la difficulté du son binaural (voir p. 12-13).

La transformation du signal

« Entre le moment où le son sort d'un hautparleur et celui où il arrive à l'intérieur du conduit auditif, il y a une transformation du signal, spécifique à chaque oreille, explique Marc Emerit. Elle dépend de la position angulaire et de la distance de la source, ainsi que de la morphologie de l'auditeur. » Le pavillon de l'oreille, qui colore le son, joue un rôle essentiel dans la localisation. Le projet Bili veut modéliser cette transformation du signal, spécifique à chacun, en s'appuyant sur des méthodes expérimentales.

À partir de cet été, cinquante personnes vont jouer les cobayes, l'une après l'autre, dans une chambre sourde (anéchoïque), à Orange Labs Lannion(4). Dans ce cube où les ondes ne se réfléchissent pas, chaque cobaye a deux minimicros dans ses oreilles. Les chercheurs émettent les sons de mesures dans des centaines de directions tout autour. En enregistrant le son, les acousticiens obtiennent une représentation sphérique de la captation sonore de chaque individu. Ils en déduisent une fonction de transfert de la tête (Head-Related Transfer Function).



Scanner le pavillon de l'oreille

Cette HRTF est une signature personnelle. Elle est composée de deux filtres (un par oreille) : en les appliquant à un son, il devient spatialisé. Mais pour obtenir ces filtres, il faut subir des tests individuels, pendant deux heures, en chambre anéchoïque. Ce n'est pas vraiment pratique. « Le grand challenge de Bili consiste à trouver une manière simple d'obtenir des filtres, en fonction de la morphologie de chaque personne », explique Marc Emerit. « Le Graal que nous poursuivons est une solution grand public, complète Rozenn Nicol. Imaginez une cabine, un "binaumaton". En trente secondes, un scanner 3D prend la forme du pavillon de l'oreille, au millimètre près. Ce maillage aboutit à des algorithmes de modélisation, qui calculent les HRTF associées à chaque morphologie. »

Les acteurs du projet Bili ont trois ans pour trouver. Le son en 3D étant une spécialité de ses ingénieurs depuis dix ans, Orange Labs est bien parti. Mais la course est mondiale pour trouver la méthode pour individualiser le son, avec des universités et les grandes entreprises du son, aux États-Unis, au Japon et en Corée. Le son binaural était à l'ordre du jour des rencontres du consortium des télévisions européennes (Eurovision), en mai, avec France Télévision. La BBC mène une recherche active. Tout comme Radio France, l'autre grand acteur de Bili, qui a lancé le site www.nouveau.radiofrance.fr. Avec deux oreillettes, il permet de découvrir ce nouveau monde acoustique.

Une expérience avec l'Opéra de Rennes

Les spécialistes de l'écoute binaurale (lire ci-dessus) ont participé à une expérience avec l'Opéra de Rennes. Le 4 juin, La Traviata de Verdi a été diffusée sous plusieurs formes, avec les acteurs de l'innovation numérique : captation avec caméra 360 ° et restitution virtuelle sur tablettes (Orange, Insa), projection sur écrans en ultra HD et écoute au casque sans fil (Orange, Technicolor, Diwel), restitution en réalité augmentée et visite virtuelle (Artefacto). La Traviata a été retransmise en direct (TVR, Ty Télé, Tébéo, France 3, France Musique) et en extérieur dans sept villes bretonnes et à Jersey. Pour le projet de recherche Bili (Binaural Listening, lire ci-dessus), plusieurs méthodes de prise de son ont été testées aux répétitions : micros à 360°, micros sur des têtes artificielles, micros parmi l'orchestre, le chœur et près des solistes. Les chercheurs vont les comparer et réaliser un mix binaural. L'objectif est de trouver la méthode qui offrira à l'auditeur, casque aux oreilles, l'immersion sonore idéale - comme s'il vibrait au cœur de l'opéra.

NG

NICOLAS GUILLAS

(1) Le son stéréophonique est enregistré par deux micros et diffusé par deux canaux.

(2)Ircam : Institut de recherche et coordination acoustique/ musique.

(3)Limsi : Laboratoire d'informatique pour la mécanique et les sciences de l'ingénieur CNRS, Université Pierre-et-Marie-Curie et Université Paris-Sud.

(4)Et à l'Institut de recherche et coordination acoustique/musique (Ircam), à Paris.

Contacts

Matthieu Parmentier Tél. 01 56 22 43 28

matthieu.parmentier@francetv.fr

Rozenn Nicol Tél. 02 96 05 16 99

rozenn.nicol@orange.com

Marc Emerit Tél. 02 99 12 47 54

marc.emerit@orange.com

Annexe 02

NASA/CR-2001-211255



Binaural Simulation Experiments in the NASA Langley Structural Acoustics Loads and Transmission Facility

Ferdinand W. Grosveld

Lockheed Martin Engineering and Sciences, Hampton, Virginia

Introduction

Binaural simulation is the representation of sound as heard through the left and right ears of a listener and includes interaural signal time and intensity differences and the acoustic scattering about the head, pinnae and torso. The temporal differences occur naturally when a sound reaches the ears from one specific direction and may be measured by placing small microphones in the ears of a replica of a human head and torso. The relation between the two signals is preserved throughout the data acquisition and analysis process. The ambisonic B-format representation of sounds, including direction, consists of four signals. These signals represent the zero and first order spherical harmonics in three dimensions. The zero order harmonic (denoted W) is a sphere with an amplitude that is independent of direction. The three first order harmonics consist of dipoles in three mutually orthogonal directions. These are front-back (X), left-right (Y) and up-down (Z). The basic B-format representation of a reference and three vectors is mathematically simple to produce and is easily transcoded into other formats. Binaural simulation studies of sound radiating from structures are being pursued by the Virginia Polytechnic Institute and State University and NASA Langley Research Center under NASA cooperative agreement NCC-1-01029, "Development of an Efficient Binaural Simulation for the Analysis of Structural Acoustic Data." The purpose of the current work is to report on a matrix of binaural simulation measurements in a controlled acoustic environment to assist in the validation of these studies.



Figure 11. The Knowles Electronics Manikin for Acoustic Research (KEMAR).

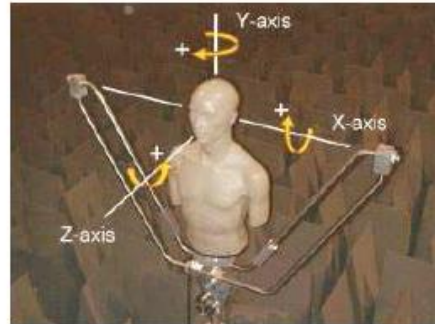


Figure 12. Local mannequin Cartesian coordinate system and the positive rotation directions.



Figure 13. The Z-axis of the mannequin aligned with the center of the test panel (Test 1 in Table 11).



Figure 14. The KEMAR mannequin rotated 45 degrees about the Y-axis and minus 45 degrees about the X-axis (Test 8 in Table 11).

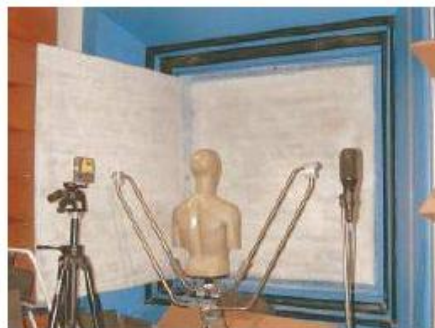


Figure 15. A reflective panel added to the test set-up (Test 1a in Table 15) with a laser alignment tool on the left and the B-format microphone on the right.



Figure 16. The mannequin rotated 150 degrees about the Y-axis (Test 4a in Table 15).

REPORT DOCUMENTATION PAGE			Form Approved OMB No. 0704-0188
Public reporting burden for this collection of information is estimated to average 1 hour per response, including the time for reviewing instructions, searching existing data sources, gathering and maintaining the data needed, and completing and reviewing the collection of information. Send comments regarding this burden estimate or any other aspect of this collection of information, including suggestions for reducing this burden, to Washington Headquarters Services, Directorate for Information Operations and Reports, 1215 Jefferson Davis Highway, Suite 1204, Arlington, VA 22202-4302, and to the Office of Management and Budget, Paperwork Reduction Project (0704-0188), Washington, DC 20503.			
1. AGENCY USE ONLY (Leave blank)	2. REPORT DATE December 2001	3. REPORT TYPE AND DATES COVERED Contractor Report	
4. TITLE AND SUBTITLE Binaural Simulation Experiments in the NASA Langley Structural Acoustics Loads and Transmission Facility		5. FUNDING NUMBERS NAS1-00135 WU 705-30-11-13	
6. AUTHOR(S) Ferdinand W. Grosveld			
7. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES) Lockheed Martin Engineering and Sciences NASA Langley Research Center Hampton, Virginia 23681-2199		8. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NUMBER	
9. SPONSORING/MONITORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESS(ES) National Aeronautics and Space Administration Langley Research Center Hampton, VA 23681-2199		10. SPONSORING/MONITORING AGENCY REPORT NUMBER NASA/CR-2001-211255	
11. SUPPLEMENTARY NOTES Funding for this work was provided by the Life Cycle Simulation element of the Intelligent Synthesis Environment Program under the task entitled "Structural Acoustic Simulation in Operational Environments." S. A. Rizzi of NASA LaRC was task lead.			
12a. DISTRIBUTION/AVAILABILITY STATEMENT Unclassified-Unlimited Subject Category 71 Distribution: Standard Availability: NASA CASI (301) 621-0390		12b. DISTRIBUTION CODE	
13. ABSTRACT (Maximum 200 words) A location and positioning system was developed and implemented in the anechoic chamber of the Structural Acoustics Loads and Transmission (SALT) facility to accurately determine the coordinates of points in three-dimensional space. Transfer functions were measured between a shaker source at two different panel locations and the vibrational response distributed over the panel surface using a scanning laser vibrometer. The binaural simulation test matrix included test runs for several locations of the measuring microphones, various attitudes of the mannequin, two locations of the shaker excitation and three different shaker inputs including pulse, broadband random, and pseudo-random. Transfer functions, auto spectra and coherence functions were acquired for the pseudo-random excitation. Time histories were acquired for the pulse and broadband random input to the shaker. The tests were repeated with a reflective surface installed. Binary data files were converted to universal format and archived on compact disk.			
14. SUBJECT TERMS Acoustics; Binaural Simulation; Structural Acoustics		15. NUMBER OF PAGES 23	
		16. PRICE CODE A03	
17. SECURITY CLASSIFICATION OF REPORT Unclassified	18. SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE Unclassified	19. SECURITY CLASSIFICATION OF ABSTRACT Unclassified	20. LIMITATION OF ABSTRACT UL

Annexe 03

Introduction à la cognition auditive.

Stephen McAdams, Emmanuel Bigand

**Penser les Sons: Psychologie Cognitive de l'Audition, Oxford University Press,
Oxford 1993**

<http://articles.ircam.fr/textes/McAdams93b/>

Quels sont les aspects cognitifs dans l'audition ?

L'etymologie du terme cognitif renvoie à la notion de connaissance. Ce terme a ensuite été utilisé dans un sens plus précis pour désigner les conditions qui permettent l'acquisition et le développement d'une connaissance du monde. Il va sans dire que la perception joue un rôle essentiel à ce niveau : aucune théorie de la connaissance ne serait ainsi complète sans une théorie de son acquisition et donc de la perception. L'étude des aspects cognitifs de l'audition a pour objectif de comprendre comment l'information auditive contribue fondamentalement au développement de la connaissance.

Bien sûr, les processus de traitement de l'information auditive dont il sera question ici pourront sembler très différents de ceux intervenant dans des activités intellectuelles plus abstraites telles que la pensée, la logique, le raisonnement, la prise de décision, l'imagination etc.. Deux remarques doivent cependant être faites sur ce point. Tout d'abord l'originalité du projet cognitiviste est de présenter une vision intégrée de l'ensemble des processus intellectuels en mettant en évidence la continuité existant entre les aspects les plus élémentaires de ces activités (traitement de l'information sensorielle) et les aspects les plus abstraits (traitement de l'information symbolique). Par conséquent, le projet cognitiviste dépasse la traditionnelle division en fonctions intellectuelles indépendantes : perception, mémoire, apprentissage, langage, intelligence etc. Envisager des aspects cognitifs dans l'audition, c'est vouloir situer les processus de perception auditive à l'intérieur de cette continuité.

La seconde remarque concerne plus directement la nature des processus mentaux impliqués dans la perception auditive. L'importance accordée au terme cognitif dans cet ouvrage signifie que par delà les phases élémentaires de traitement, des processus de traitement de haut niveau (représentations mentales, prise de décision, inférence, interprétation) semblent indispensables au système auditif pour élaborer une représentation cohérente du monde sonore. En effet, le postulat de base d'une approche cognitive de l'audition est que l'information sensorielle doit être interprétée pour donner naissance à une perception cohérente. Cette interprétation est nécessaire puisque l'information contenue dans les stimuli qui atteignent les organes sensoriels se révèle souvent incomplète ou ambiguë. Dans ces cas, le système perceptif doit représenter puis comparer des informations qui ne sont plus directement disponibles au niveau sensoriel.

Ceci est d'autant plus frappant dans le cas de l'audition, puisque les événements sonores se succèdent dans le temps : l'élaboration d'une représentation mentale s'avère indispensable pour percevoir leur structure, c'est à dire pour établir des relations entre des événements séparés par plusieurs minutes ou même plusieurs heures. La musique est une structure sonore exemplaire de ce point de vue : comment percevoir l'unité d'un ensemble de sons qui se développe sur de très longs laps de temps (une heure et demi dans le cas de la 9ème symphonie de Beethoven) sans élaborer une représentation des sous-structures (thématiques par exemple) qui sont développées dans l'oeuvre ?

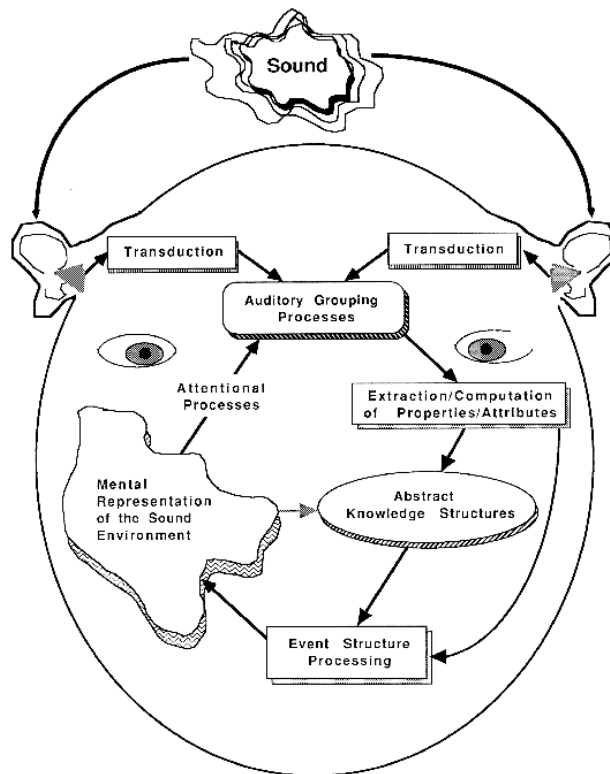
Lorsque l'information immédiatement disponible au niveau sensoriel se révèle insuffisante, le système perceptif analyse la situation en considérant la connaissance acquise sur le monde sonore. A l'exception du nouveau né, l'information de l'environnement ne parvient pas dans un organisme complètement naïf. Les connaissances interagissent avec les données sensorielles actuelles dans l'interprétation des stimulations auditives. Imaginez vous un instant en pleine forêt amazonienne : vous entendriez exactement les mêmes bruits que le guide qui vous accompagne mais, étant donné votre manque de connaissance du milieu, vous seriez incapable d'extraire du fond sonore les sons correspondant aux cris de l'iguane, aux singes macaques, aux chants des ouistitis ou aux bruissements des arbres tropicaux. De ce fait, vous seriez dans l'incapacité d'attribuer une signification à l'ensemble de la structure sonore, ce qui pourrait être important pour votre survie dans l'environnement. De la même façon, les oreilles d'or de la marine française qui ont été entraînée à la détection de sonar, parviennent à percevoir et à identifier des sources sonores comme des "**clicking shrimp**", des baleines, "**porpoises**", des bancs de poissons, le flux des océans.??(ocean-going vessels) là où la

plupart d'entre nous n'entendrait qu'un ensemble indifférencié de bruits sous marins. Ils réussissent même à distinguer les bruits de bateaux de commerce et de bateaux militaires, des bruits de sous marins en surface ou en plongée, propulsés par un moteur nucléaire ou un moteur diesel, voire même jusqu' à la nationalité russe, américaine ou française du sous-marin . Dans les cas les plus dramatiques, l'incapacité à différencier les sources sonores et à identifier leur origine peut aboutir à ne pas déduire de ces signaux la présence d'un danger imminent : la présence d'un jaguar dans le premier exemple ou celle d'un sous-marin clandestin par exemple.

Dans le cas de structures sonores telles que la musique, dont l'organisation est hautement déterminée par des règles culturelles, une simple observation de l'information enregistrée au niveau sensoriel ne suffit pas à expliquer les très grandes différences perçues lorsque l'on passe d'un quatuor de Mozart à un quatuor de Beethoven par exemple.

Dans bien d'autres situations, l'information disponible au niveau sensoriel peut se révéler trop ambiguë pour donner lieu à une perception univoque de la situation. Imaginez vous par exemple la nuit dans un vieux manoir isolé dans la campagne : les bruits perçus résultent ils des pas d'un cambrioleur cherchant à s'introduire dans la maison, ou s'agit il simplement des crissemments du vent sur les vieux matériaux.? L'identification de la source sonore pourra être différente selon le type d'information privilégiée : régularité des bruits ou qualités timbrales des matériaux mis en vibration. Confronté à des stimuli ambigus de ce type, le système perceptif prendra des décisions inconscientes pour organiser la figure sonore. La connaissance de l'auditeur peut jouer un rôle important à ce niveau : dans l'exemple précédent, un enfant, un adulte ou le propriétaire de la maison arriveraient sans doute à des interprétations différentes.

Les illusions auditives constituent une autre situation illustrant le travail d'interprétation réalisé par le système perceptif : dans ce cas, l'inférence effectuée sur la base des informations disponibles est incorrecte et conduit à la perception d'un objet sonore fictif. Les compositeurs ont su depuis plusieurs siècles exploiter ces caractéristiques de la perception pour créer des figures sonores séduisantes. Les sonates et partitas pour violon seul de J.-S. Bach offrent de nombreux cas remarquables d'illusion auditive : l'auditeur perçoit assez clairement la présence de deux violons jouant dans des registres différents bien qu'il n'y ait en fait qu'un seul violoniste jouant très rapidement des notes alternativement graves et aiguës. De la même façon, en jouant une même mélodie dans plusieurs familles d'instruments, Ravel dans le Boléro, réussit à détourner l'oreille de la perception d'un ensemble de timbres différents et à l'orienter vers la perception d'un timbre unique aux qualités chatoyantes et nouvelles qui provient d'une source sonore virtuelle.



Annexe 03

Etude qualitative de l'espace Binaural/image.

Personne sensibilisée à l'écoute **OUI** NON

Lieu de l'écoute *Train*

Titre du film *Les expéditions*

M2 ESAV

Franck Brudieux 2013

<u>Critères qualitatifs :</u>	<u>Critères quantitatifs :</u> Les différents critères sur une échelle de 1 à 5 du -- au ++		<u>Remarques :</u>
	<u>Avec Image</u>	<u>Sans Image</u>	
1. Equilibre entre les voies avant et arrière : l'équilibre entre l'avant et arrière vous semble-t-il bon ou déséquilibré (cela peut être au profit de l'arrière ou de l'avant) ?	Bon 5	Bon 5	On a l'impression d'être dans la même pièce.
2. Sources sur les côtés : percevez-vous des sources extra-crâniennes sur les côtés ou non ?	OUI 5	OUI 5	
3. Sensation d'enveloppement : vous sentez-vous enveloppé par le son (sensation d'être au centre) ou non ?	Non 2	OUI 5	S'ai l'impression d'être moins présent avec l'image que sans.
4. Sensation d'homogénéité : l'image sonore vous semble-t-elle homogène ou déséquilibrée au profit de certaines zones angulaires ?	Plutôt homogène	Plutôt homogène. 4	
5. Sensation de naturel : l'image sonore vous paraît-elle naturelle ou non ?	OUI	OUI 5	
6. Précision de localisation : localisez-vous de façon précise ou diffuse les sources ?	OUI	Passon précis Flou 2	On sait que l'on est dans la pièce mais on ne sait pas où précisément.

Critères qualitatifs :	Critères quantitatifs : Les différents critères sur une échelle de 1 à 5 du -- au ++		Remarques :
	Avec Image	Sans Image	
7. Stabilité de localisation : la localisation des sources vous semble-t-elle stable ou instable ?	stable	instable 2	
8. Timbre : le timbre vous semble-t-il réaliste ou non ?	OUI	OUI 5	
9. Définition : la définition du son vous paraît-il précis ou confus ?	Précis	Précis 5	
10. Dans quel état vous sentez Vous ? Anxieux, plénitude, éveil, endormissement...	Éveil, Présent	Éveil 5	
11. L'image/son semblent t'ils synchrones (oui, non) ?	OUI		
12. Vous sentez-vous en décrochage par rapport à l'image ?	OUI 5		
13. Trois mots pour décrire vos sensations ?	Plus présent, Éveil, réaliste.	Présent,	

Plan de localisation

Film Instrument

Etude qualitative de l'espace Binaural/image.

Personne sensibilisée à l'écoute **OUI** NON

Lieu de l'écoute Montpellier Odyséum, sur un air de pique mique
en plastique en face d'un planétarium en Plastique

Titre du film

M2 ESAV

Franck Brudieux 2013

<u>Critères qualitatifs :</u>	<u>Critères quantitatifs :</u> Les différents critères sur une échelle de 1 à 5 du -- au ++		<u>Remarques :</u>
	<u>Avec Image</u>	<u>Sans Image</u>	
1. Equilibre entre les voies avant et arrière : l'équilibre entre l'avant et l'arrière vous semble-t-il bon ou déséquilibré (cela peut être au profit de l'arrière ou de l'avant) ?	3	3 -	J'ai dans les deux cas mieux ressenti l'avant que l'arrière
2. Sources sur les côtés : percevez-vous des sources extra-crâniennes sur les côtés ou non ?	4	5	Oui de façon significative
3. Sensation d'enveloppement : vous sentez-vous enveloppé par le son (sensation d'être au centre) ou non ?	4. dans 10% du temps oui	4	Une sensat° par moment que le son traverse ma tête
4. Sensation d'homogénéité : l'image sonore vous semble-t-elle homogène ou déséquilibrée au profit de certaines zones angulaires ?	2.5	3	
5. Sensation de naturel : l'image sonore vous paraît-elle naturelle ou non ?	2 - Non !	5 oui, j'ai d'abord eu à un instant puis à un moment	
6. Précision de localisation : localisez-vous de façon précise ou diffuse les sources ?	3 mon op est très facilement décentré	3,5 dans l'ensemble oui	

<u>Critères qualitatifs :</u>	<u>Critères quantitatifs :</u> Les différents critères sur une échelle de 1 à 5 du -- au ++		<u>Remarques :</u>
	<u>Avec Image</u>	<u>Sans Image</u>	
7. Stabilité de localisation : la localisation des sources vous semble-t-elle stable ou instable ?	1. non, j'étais perdue entre le son et l'image.	3. instable par moment stable (80% stable)	stable par d'autre
8. Timbre : le timbre vous semble-t-il réaliste ou non ?	4	5. oui	Oui, même s'il semblait manquer de chose.
9. Définition : la définition du son vous paraît-il précis ou confus ?	2. 5. Confus avec l'image car le son ne me semble pas correspondre à l'image.	4. ça dépend des moments	
10. Dans quel état vous sentez Vous ? Anxieux, plénitude, éveil, endormissement...	Fatigué encore	Fatigué moins de son mais mais existe par la joie	
11. L'image/son semblent t'ils synchrones (oui, non) ?	à moitié du temps non		un peu plus vers la fin.
12. Vous sentez-vous en décrochage par rapport à l'image ?	Complètement 5		
13. Trois mots pour décrire vos sensations ?	Curiosité, gêne	désorientation, lassitude, Mélange (avec mon environnement)	

Plan de localisation

* Le fait que l'image son m'a fait par moment incompatible. j'étais proche du son comme au milieu, et face à l'image donc très loin. Peut-être qu'avec un image en 360 autour de moi, je m'aurais pas eu cette impression.

* j'étais près d'une route et plusieurs fois je me suis demandé, si le son été dans la captation, ou si c'était le son dans lequel je me trouvais. Potentiellement pour une moto que j'ai cherché du regard et que je m'ai pas vue (je l'ai donc assimilé au son écouté) puis je l'ai vue et j'ai compris qu'elle m'était pas dans la captation. Ça fut troublant.

Public sensible (NON) oui 030

Etude qualitative de l'espace Binaural/image.

M2

ESAV

Film Instrument

Franck Brudieux 2013

Critères qualitatifs :	Critères quantitatifs : Les différents critères sur une échelle de 1 à 5 du -- au ++		Remarques :
	Sans image		Sans image.
1. Equilibre entre les voies avant et arrière : l'équilibre entre l'avant et arrière vous semble-t-il bon ou déséquilibré (cela peut être au profit de l'arrière ou de l'avant) ?	4	4	4
2. Sources fantômes sur les côtés : percevez-vous des sources fantômes sur les côtés ou non ?	oui 3	3	3
3. Sensation d'enveloppement : vous sentez-vous enveloppé par le son (sensation d'être au centre du chœur) ou non ?	oui 5	4	4
4. Sensation d'homogénéité : l'image sonore vous semble-t-elle homogène ou déséquilibrée au profit de certaines zones angulaires ?	3	4	4
5. Sensation de naturel : l'image sonore vous paraît-elle naturelle ou non ?	oui 4	5	4
6. Précision de localisation : localisez-vous de façon précise ou diffuse les sources ?	Non 3	4	4
7. Stabilité de localisation : la localisation des sources vous semble-t-elle stable ou instable ?	oui 4	5	4
8. Timbre : le timbre vous semble-t-il réaliste et agréable ou non ?	Realité non réaliste 4	5	Realité réaliste 5
9. Définition : la définition du son vous paraît-il précis ou confus ?	5	4	5
10. Dans quel état vous sentez-vous ? Anxieux, plénitude, éveil, endormissement...		entre 2 et 4 éveil et endormissement	avec l'image on se sent moins anxieux, on se sent plus en éveil
11. L'image/son semblent-ils synchrones ?		4	on peut remarquer la synchronisation de l'image avec le son.

Etude qualitative de l'espace Binaural/image.

Personne sensibilisée à l'écoute **OUI** NON

Lieu de l'écoute

Maison

Titre du film

Film Instrument

M2 ESAV

Franck Brudieux 2013

<u>Critères qualitatifs :</u>	<u>Critères quantitatifs :</u> Les différents critères sur une échelle de 1 à 5 du -- au ++		<u>Remarques :</u>
	<u>Avec Image</u>	<u>Sans Image</u>	
1. Equilibre entre les voies avant et arrière : l'équilibre entre l'avant et arrière vous semble-t-il bon ou déséquilibré (cela peut être au profit de l'arrière ou de l'avant) ?	4	2	Plus vers l'arrière jamais vers l'avant
2. Sources fantômes sur les côtés : percevez-vous des sources extra-crâniennes sur les côtés ou non ?	4	5	Avec l'image les sons des personnes sont perceptibles
3. Sensation d'enveloppement : vous sentez-vous enveloppé par le son (sensation d'être au centre) ou non ?	4	3	Plus avec l'image
4. Sensation d'homogénéité : l'image sonore vous semble-t-elle homogène ou déséquilibrée au profit de certaines zones angulaires ?	4	2	Plutôt Gauche Proche Equilibré avec image
5. Sensation de naturel : l'image sonore vous paraît-elle naturelle ou non ?	5	5	Realiste
6. Précision de localisation : localisez-vous de façon précise ou diffuse les sources ?	5	5	

7. Stabilité de localisation : la localisation des sources vous semble-t-elle stable ou instable ?	5	4	t avec l'image
8. Timbre : le timbre vous semble-t-il réaliste ou non ?	5	5	
9. Définition : la définition du son vous paraît-il précis ou confus ?	3	4	décalé parfois avec l'image
10. Dans quel état vous sentez Vous ? Anxieux, plénitude, éveil, endormissement...			Avec l'image → Caecophorie Bruyant FATIGUE
11. l'image/son semblent t'ils synchrones ?	Parfois (4 par H le temps)	X	Parfois pas synchrones
12. Vous sentez-vous en décrochage par rapport à l'image ?	1	X	Bonne restitution
13. Trois mots pour décrire vos sensations ?			EXPERIENCE DANS un aréol.

Plan de localisation

le bruit de filarmet comme
après l'avoir vu
les gens disent on mouvenait après
l'avoir vu.

Etude qualitative de l'espace Binaural/Image.

005

Personne sensibilisée à l'écoute OUI NON]

Lieu de l'écoute *Rou*

Titre du film *Les enfants*

M2 ESAY

Franck Brudieux 2013

Critères qualitatifs :	Critères quantitatifs : Les différents critères sur une échelle de 1 à 5 du -- au ++		Remarques :
1. Equilibre entre les voies avant et arrière : l'équilibre entre l'avant et l'arrière vous semble-t-il bon ou déséquilibré (cela peut être au profit de l'arrière ou de l'avant) ?	Avec Image	Sans Image	
	3	4	
2. Sources fantômes sur les côtés : percevez-vous des sources extra-cranienales sur les côtés ou non ?	1	5	<i>Elmires, d'origine dans le bain, au milieu, pour des raisons de confort, il y a des sources de son dans le périmètre de la pièce, ce qui rend le son plus présent dans l'espace.</i>
3. Sensation d'enveloppement : vous sentez-vous enveloppé par le son (sensation d'être au centre) ou non ?	2	5	
4. Sensation d'homogénéité : l'image sonore vous semble-t-elle homogène ou déséquilibrée au profit de certaines zones angulaires ?	2	4	
5. Sensation de naturel : l'image sonore vous paraît-elle naturelle ou non ?	4	5	
6. Précision de localisation : localisez-vous de façon précise ou diffuse les sources ?	3	4	

7. Stabilité de localisation : la localisation des sources vous semble-t-elle stable ou instable ?	2	4 3	
8. Timbre : le timbre vous semble-t-il réaliste ou non ?	5	5	
9. Définition : la définition du son vous paraît-elle précise ou confuse ?	5	5	
10. Dans quel état vous sentez-vous ? Anxieux, ④ planté, éveil, ⑤ endormissement...	4	5	
11. l'image/son semblent-ils synchrones ?		X	
12. Vous sentez-vous en décrochage par rapport à l'image ? ① Non, ② Oui, ③ à moitié, ④ à moitié, ⑤ à moitié		X	
13. Trois mots pour décrire vos sensations ?		<i>éveil, joyeux, étonnant</i>	<i>vieilles, d'origine, étrange</i>

Plan de localisation

Pour la version avec image, le son et l'image ne sont pas dissociés. Par contre, dans certaines scènes, on se sent plus en spectateur qu'en participant. Les effets de son sont parfois plus présents que dans la version sans image. Je préfère l'écoute sans image, plus présente, plus immersive, plus présente, plus présente, plus présente.

Etude qualitative de l'espace Binaural/Image.

0/0

Personne sensibilisée à l'écoute OUI (NON)

Lieu de l'écoute

Titre du film

M2 ESAV

Franck Brudieux 2013

Critères qualitatifs :

Critères quantitatifs :
Les différents critères sur une échelle de 1 à 5
du -- au ++

Remarques :

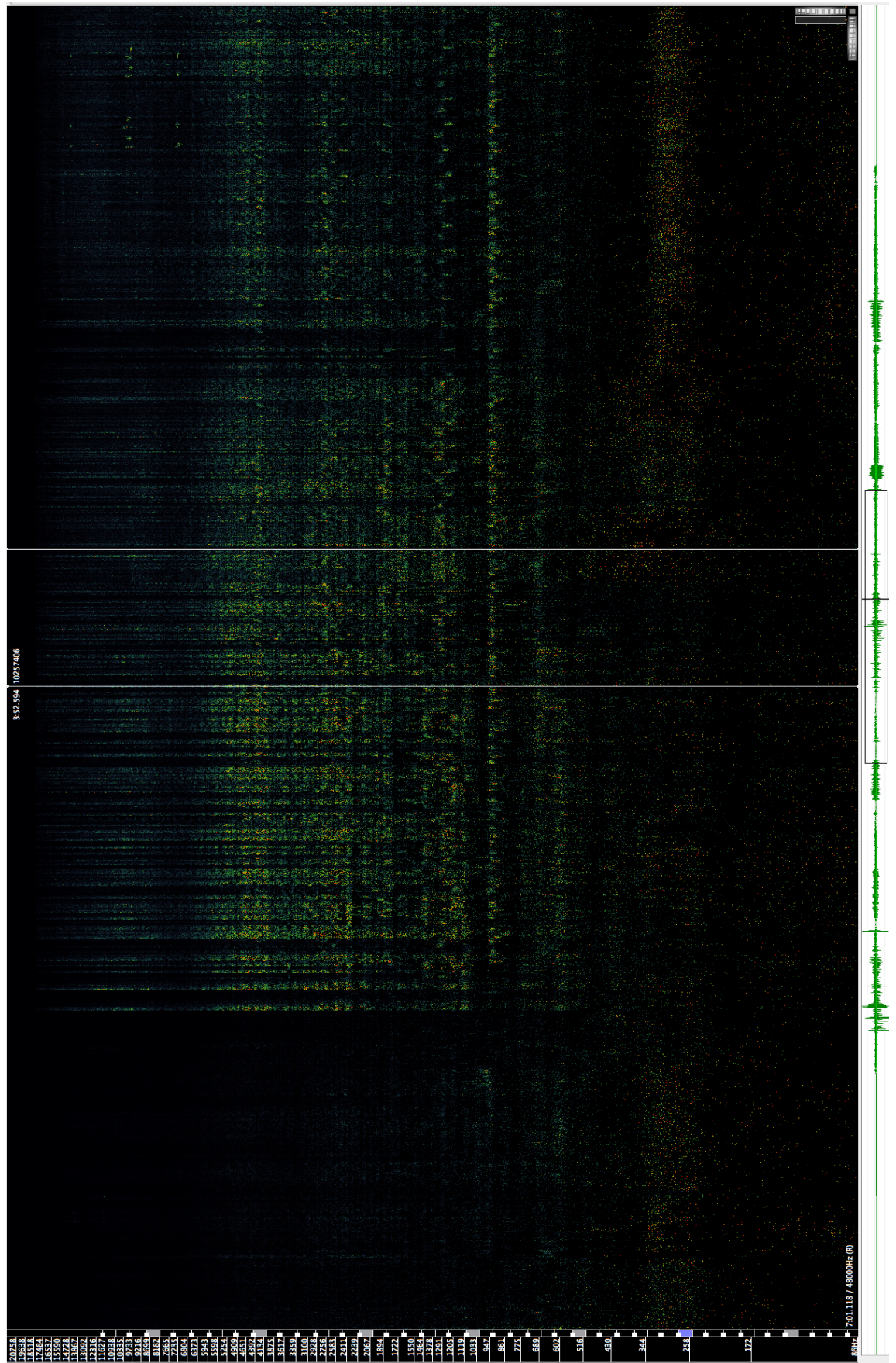
when I was young I had these ear operations. I cannot hear signals where sounds come from with high frequency. I also have a mild form of tinnitus. Like the sound of crickets in my head.

Critères qualitatifs :	Critères quantitatifs : Les différents critères sur une échelle de 1 à 5 du -- au ++		Remarques :
	Avec Image	Sans Image	
1. Equilibre entre les voies avant et arrière : l'équilibre entre l'avant et arrière vous semble-t-il bon ou déséquilibré (cela peut être au profit de l'arrière ou de l'avant) ?	5	5	
2. Sources sur les côtés : percevez-vous des sources extra-céphaliques sur les côtés ou non ?	5	5	
3. Impression d'enveloppement : vous sentez-vous enveloppé par le son (sensation d'être au centre) ou non ?	5	5	
4. Impression d'homogénéité : l'image sonore vous semble-t-elle homogène ou déséquilibrée au profit de certaines zones angulaires ?	5	5	
5. Impression de naturel : l'image sonore vous paraît-elle naturelle ou non ?	5	5	
6. Précision de localisation : localisez-vous de façon précise ou diffuse les sources ?	2	1	

Critères qualitatifs :	Critères quantitatifs : Les différents critères sur une échelle de 1 à 5 du -- au ++		Remarques :
	Avec Image	Sans Image	
7. Stabilité de localisation : la localisation des sources vous semble-t-elle stable ou instable ?	3	2	
8. Timbre : le timbre vous semble-t-il réaliste ou non ?	4	4	
9. Définition : la définition du son vous paraît-il précis ou confus ?	2	2	
10. Dans quel état vous sentez-vous ? 1. Anxieux à 5 éveill...	2	2	
11. l'image/son semblent-ils synchrones (oui, non) ?			
12. Vous sentez-vous en décrochage par rapport à l'image ? 5 décrochage - 1 pas de décrochage			
13. Trois mots pour décrire vos sensations ?			

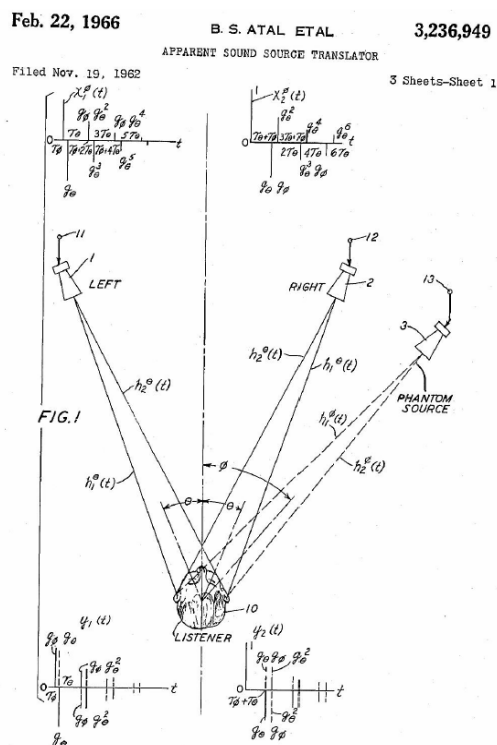
Plan de localisation





Film les enfants												
Avec Image												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Equilibre avant-arrière	3,8	3,2	3,6	4,9	4,3	3,9	4,8	4,6	4,4	1,8		
Sources extra-crâniennes	3,2	3,6	3,5	4,9	4,3	3,9	4,8	4,6	4,4	1,8		
Enveloppement	3,6	3,5	4,9	4,3	3,9	4,8	4,6	4,4	1,8			
Homogénéité	3,5	4,9	4,3	3,9	4,8	4,6	4,4	1,8				
Naturel	4,9	4,3	3,9	4,8	4,6	4,4	1,8					
Precision localisation	4,3	3,9	4,8	4,6	4,4	1,8						
Stabilité	3,9	4,8	4,6	4,4	1,8							
Timbre	4,8	4,6	4,4	1,8								
Définition sonore	4,6	4,4	1,8									
Etat éveil	10	4,4	1,8									
Déclenchage	12	1,8										
Film les enfants												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Equilibre avant-arrière	3,8	3,2	3,6	4,9	4,3	3,9	4,8	4,6	4,4	1,8		
Sources extra-crâniennes	3,2	3,6	3,5	4,9	4,3	3,9	4,8	4,6	4,4	1,8		
Enveloppement	3,6	3,5	4,9	4,3	3,9	4,8	4,6	4,4	1,8			
Homogénéité	3,5	4,9	4,3	3,9	4,8	4,6	4,4	1,8				
Naturel	4,9	4,3	3,9	4,8	4,6	4,4	1,8					
Precision localisation	4,3	3,9	4,8	4,6	4,4	1,8						
Stabilité	3,9	4,8	4,6	4,4	1,8							
Timbre	4,8	4,6	4,4	1,8								
Définition sonore	4,6	4,4	1,8									
Etat éveil	10	4,4	1,8									
Déclenchage	12	1,8										
Sans image												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Equilibre avant-arrière	3,6	3,8	4,2	3,6	4,9	3,3	3,4	4,5	3,8	4,3		
Sources extra-crâniennes	3,6	4,2	3,6	4,9	3,3	3,4	4,5	3,8	4,3			
Enveloppement	4,2	3,6	4,9	3,3	3,4	4,5	3,8	4,3				
Homogénéité	3,6	4,2	3,6	4,9	3,3	3,4	4,5	3,8	4,3			
Naturel	4,9	3,3	3,4	4,5	3,8	4,3						
Precision localisation	3,3	3,4	4,5	3,8	4,3							
Stabilité	3,4	4,5	3,8	4,3								
Timbre	4,5	3,8	4,3									
Définition sonore	3,8	4,3										
Etat éveil	4,3											
Nombre fiches												
001	001	003	003	004	004	005	005	007	007	009	010	011
001	001	003	003	004	004	005	005	007	007	009	010	011
001	001	003	003	004	004	005	005	007	007	009	010	011
001	001	003	003	004	004	005	005	007	007	009	010	011
001												

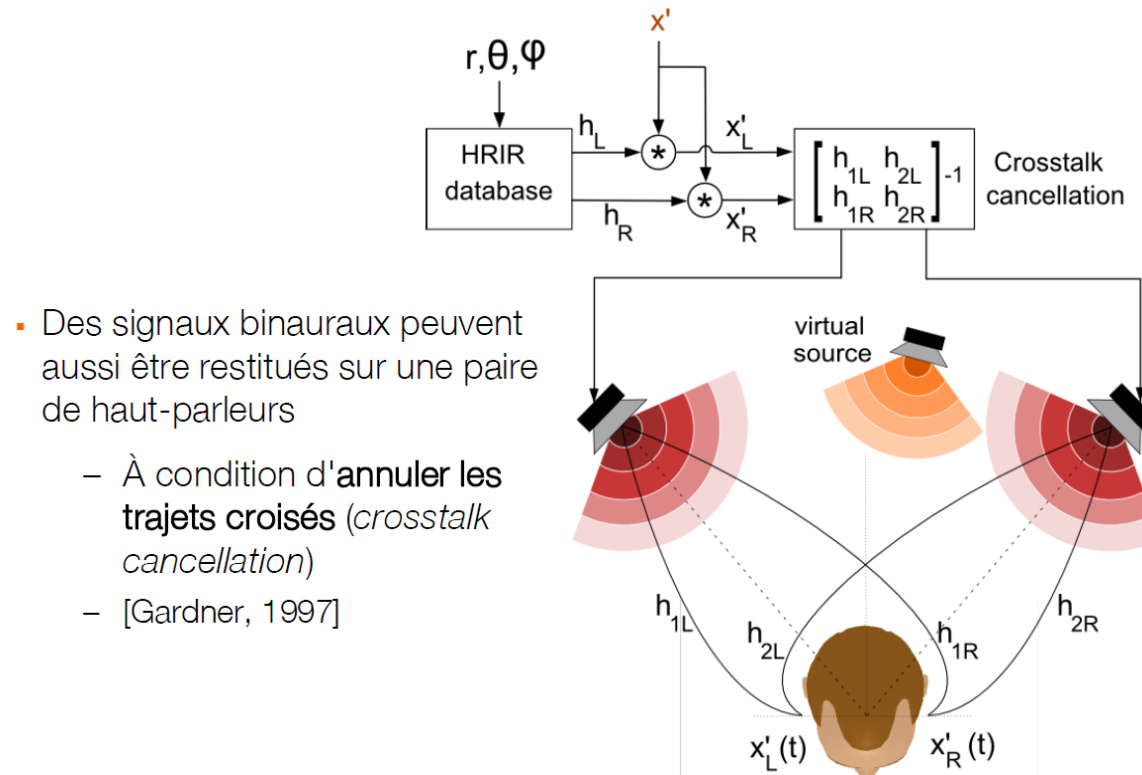
ANNEXE 05 : La diffusion transaurale d'un enregistrement binaural



Rendu binaural sur haut-parleurs

- Procédé inventé par **Atal & Schroeder** [Atal & Schroeder 1966]
 - La contribution du haut-parleur contralatéral (trajet croisé) est annulée en l'émettant en opposition de phase par le haut-parleur ipsilatéral
 - Ainsi de proche en proche...
 - Commercialisé sous le nom du système **transaural** [Cooper & Bauck 1988]
 - Transaural généralisé
 - Extension à plusieurs auditeurs

Rendu binaural sur haut-parleurs



Rendu binaural sur haut-parleurs

- Système transaural [Cooper & Bauck 1988]
 - Le procédé d'Atal & Schroeder a été commercialisé sous le nom du système transaural (marque déposée)
- Transaural généralisé [Bauck 1996]
 - Extension à plusieurs auditeurs: inversion de tous les trajets acoustiques
 - Un exemple simple
 - 1 monopôle: signal somme $S = (B1+B2)/2$
 - 1 dipôle par auditeur: signal différence $D = (B1-B2)/2$

Rendu binaural sur haut-parleurs

- Stereo dipole [Kirkeby, 1997]

- Rapprocher les haut-parleurs et les disposer sur une ligne parallèle à l'axe interaural
- Avantages
 - Stabiliser le rendu de la spatialisation
 - Étendre la zone d'écoute

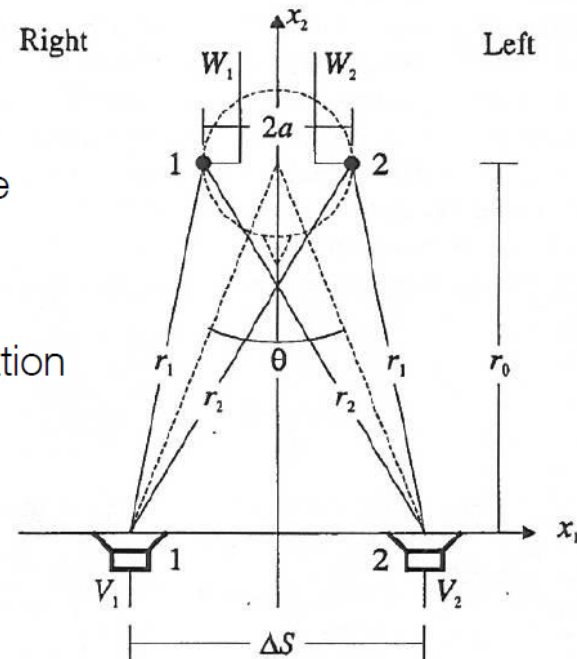


Fig. 1. Geometry of loudspeaker-microphone arrangement. θ —angle spanned by loudspeakers as seen from center of listener's head; r_0 —distance from this point to center between loudspeakers.

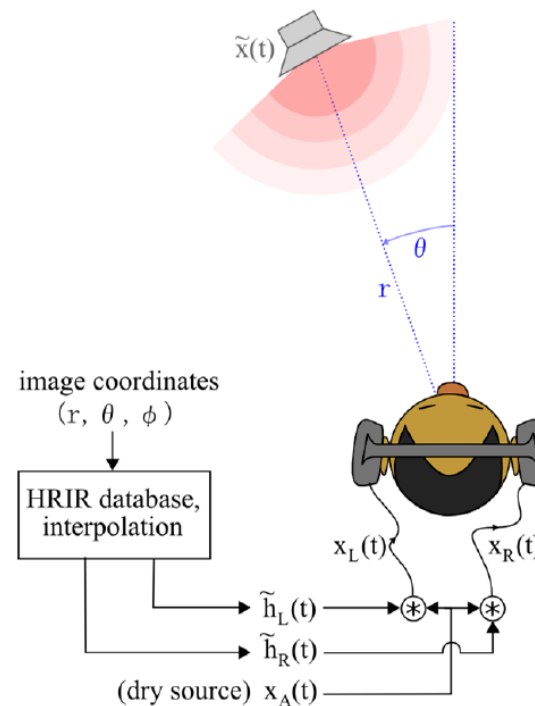
Rendu binaural sur haut-parleurs

- Solutions **alternatives** au traitement du signal
 - Utilisation de haut-parleurs directifs [Nakashima 2005]
 - Écran acoustique [Farina]
- Le rendu sur un **dispositif de 4 haut-parleurs** est aussi possible [Guastavino 2007]
 - Améliorer la spatialisation des sources arrières

ANNEXE 06 : La synthèse binaurale

Synthèse binaurale

- Prise de son *virtuelle*
 - En synthétisant les 2 signaux qui auraient été captés par 2 microphones placés à l'entrée des conduits auditifs
- Comment?
 - En **filtrant** un signal monophonique (1 signal par source virtuelle) par une paire de **filtres binauraux**
 - Chaque filtre binaural représente la fonction de transfert (**HRTF**: *Head Related Transfer Function*) décrivant la propagation acoustique entre la source sonore et les oreilles de l'auditeur



Synthèse binaurale

- Synthèse binaurale **statique**
 - Problème quand l'auditeur tourne la tête: la source virtuelle et l'ensemble de la scène sonore suivent le(s) mouvement(s) de la tête
- Apport de la synthèse binaurale **dynamique**
 - La scène sonore reste **stable** quels que soient les mouvements de l'auditeur
 - Restitution des indices de **localisation dynamique**
- Comment?
 - Intégration d'un système de suivi de mouvements de tête (**head-tracking**)
 - Par ex: acoustique (ultrason), inertiel (accéléromètre & gyroscope), magnétique, optique (caméra)
 - Les filtres binauraux sont ainsi contrôlés et actualisés en temps réel pour compenser les mouvements de l'auditeur
- Limitations
 - Requis: **faible latence** & **précision** de la mesure angulaire
 - Nécessite d'**interpoler** les HRTF afin de disposer de n'importe quelle direction
 - Risque d'**artefacts** audibles à la commutation entre 2 paires de filtres

ANNEXE 07 : Les HRTF head-related transfer function

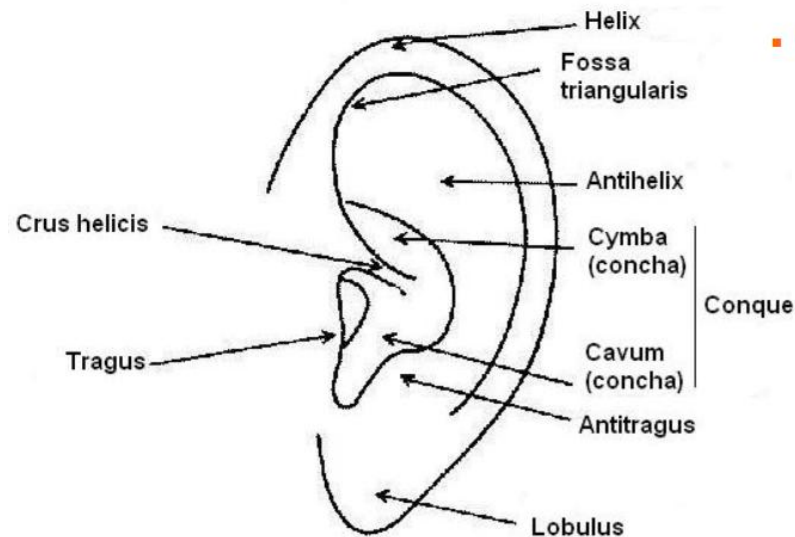
Plate-Forme de Test



France Télécom R&D

La communication de ce document est soumise à autorisation de France Télécom R&D
D7 - 30/08/2013

Localisation dans le plan médian



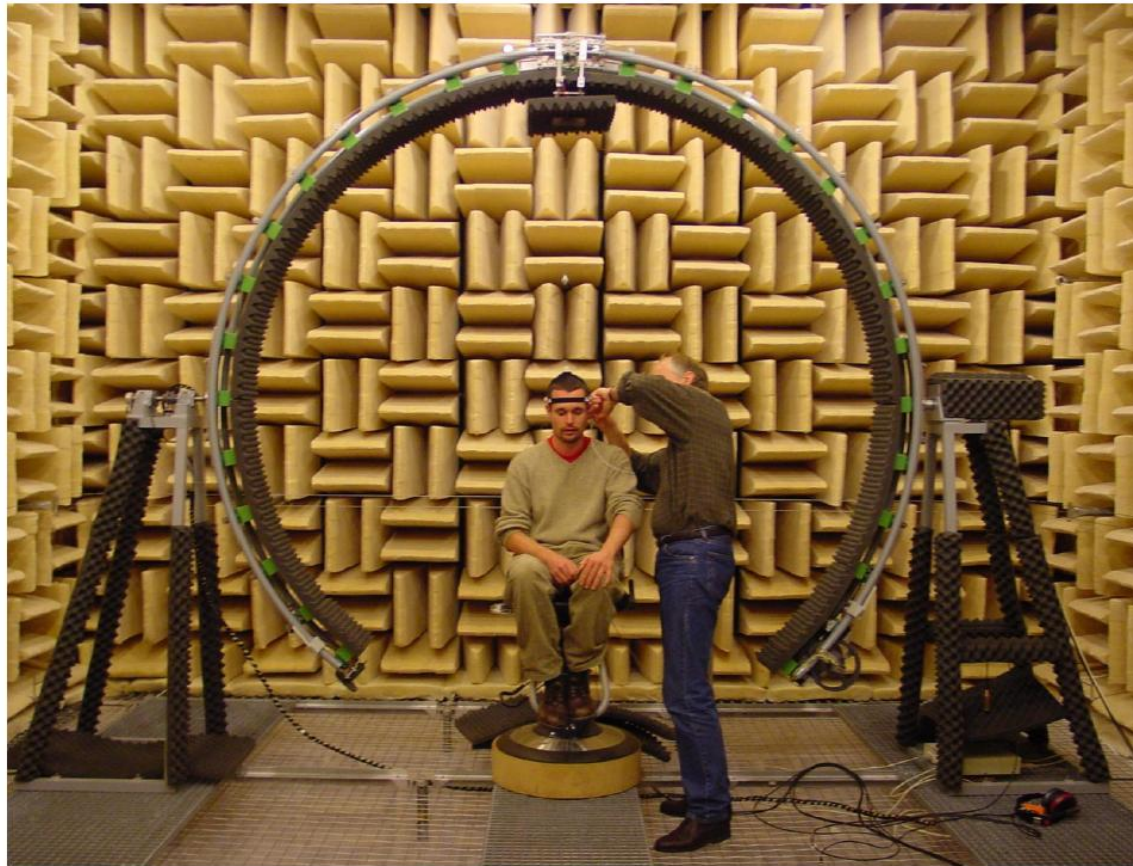
- Comment les IS sont-ils générés?
 - Principalement
 - Diffraction/ réflexion/ résonances par le **pavillon**
 - Dans une moindre mesure (IS pas exploités en pratique)
 - Diffraction par la **tête**
 - Réflexions sur les **épaules** et le haut du **torse**

HRTF

- Fonction de transfert entre la source sonore située dans l'espace 3D et les oreilles de l'auditeur
 - **Interaction** de l'**onde acoustique** avec le **corps de l'auditeur**: réflexion & diffraction par la tête/ pavillon / torse
- Dépend de
 - La **position** de la source sonore
 - **Échantillonnage fin** de la sphère 3D, afin de mesurer toutes les dépendances spatiales
 - La **morphologie** individuelle de l'auditeur
 - La mesure des HRTF individuelles est nécessaire pour proposer à tout auditeur une **synthèse binaurale individualisée**
- Classiquement, les HRTF individuelles sont obtenues par:
 - **Mesure acoustique**
 - **Modélisation numérique**: BEM [Katz, 1998] [Kahana, 2000]

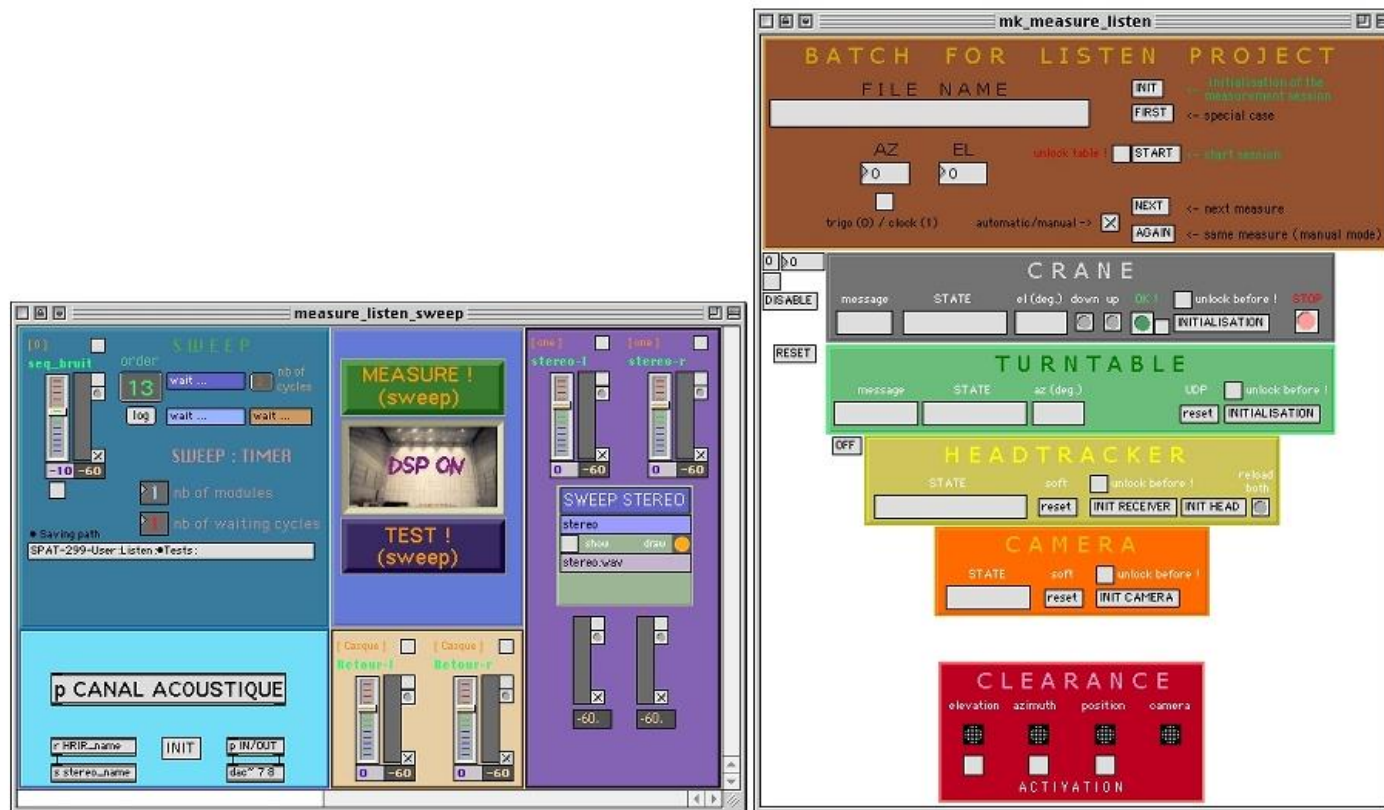


Mesure de HRTF individuelles



Système de mesure du TNO [Bronkhorst, 1995]

Annexe 08 : Exemple de spatialisateurs



Longcat H3D, binaural spatializer for Windows

RELATED: 3D, BINAURAL, EFFECT PLUGINS, LONGCAT, PANNING AND SPATIAL, VST POSTED IN NEWS ON FEB 25, 2011

Longcat has released H3D, a 3D audio spatialization effect for Windows.

The H3D plugin allows you to 3D mix audio tracks from your digital audio software (Cubase, Nuendo, Live...) and to obtain incredible spatialization effects. Sounds then seem to come from every possible direction, using standard audio headphones.



H3D features

- H3D_3dView3D object-audio mixing – use the 3D interface to place and easily animate sounds.
- Longcat Audio H3D technology – when listening on headphones, H3D allows panning sound in 3D all around the listener's head.
- Unique HRTF processing – H3D uses Longcat own processed HRTF filters in order to achieve the best spatialization effects.
- H3D Presence – independently adjust H3D's immersion effect using the Presence parameter.
- Automation – fully automate parameters and 3D animation of audio tracks.
- No tedious settings – Just insert H3D plugins and start moving sounds in 3D.

H3D for Windows (VST) is available to purchase for 99 EUR incl. VAT.



The Loop Loft — Custom Drum Loops, ReFills, MIDI Packs & Ableton Live Packs by Ryan Gruss and friends...



Loopmasters — Top notch sample & sound libraries for producers and musicians...



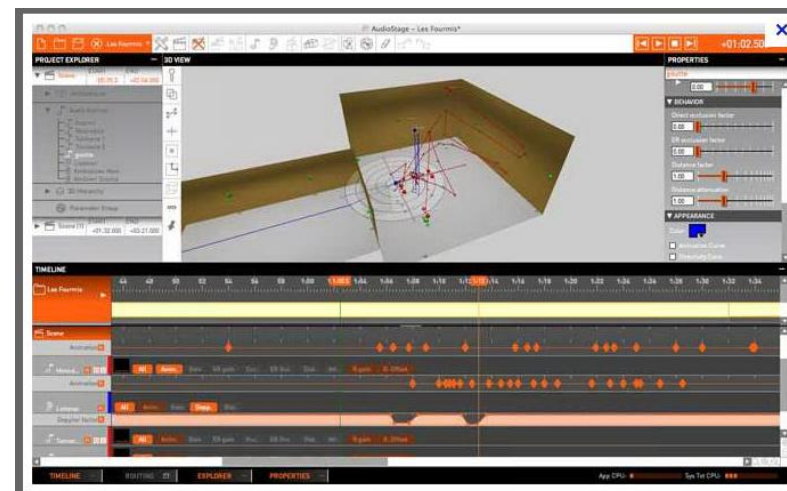
Producers Choice — Pro Hip Hop drum kits, sounds, samples & loops...



Prime Loops — Tasty sounds from passionate musicians, DJ's, engineers, designers and labels...



Diginoliz — Tom Teka Kucharski's label offers sample packs for producers, beatmakers and DJ's...



Annexe 09

Caractéristiques DPA 4060

Micro pressio omnidirectionnel à electret (pré-polarisé avec diaphragme vertical)

Réponse en fréquence, ± 2 dB: Soft boost grid: 20 Hz – 20 kHz, 3 dB soft boost at 8 – 20 kHz. High boost grid: 20 Hz – 20 kHz, 10 dB boost at 12 kHz.

Sensitivity, nominal, ± 3 dB at 1 kHz: 20 mV/Pa; -34 dB re. 1 V/Pa

Equivalent noise level A-weighted: Typ. 23 dB(A) re. 20 μ Pa (max. 26 dB(A))

Equiv. noise level ITU-R BS.468-4: Typ. 35 dB (max. 38 dB)

S/N ratio, re. 1 kHz at 1 Pa (94 dB SPL): 71 dB(A)

Total harmonic distortion (THD): < 1 % THD up to 123 dB SPL peak; < 1 % THD up to 120 dB SPL RMS sine

Plage dynamique: Typ. 100 dB

Max. SPL, peak before clipping: 134 dB

Output impedance: 30 – 40 ohm

Cable drive capability: Up to 300 m

Alimentation: source phantom 48 V ± 4 V.

Connecteur: MicroDot

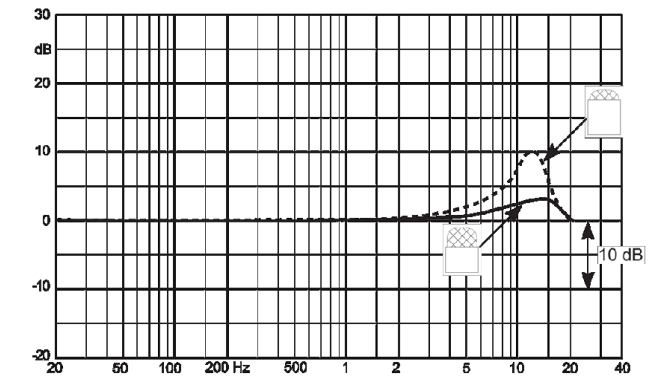
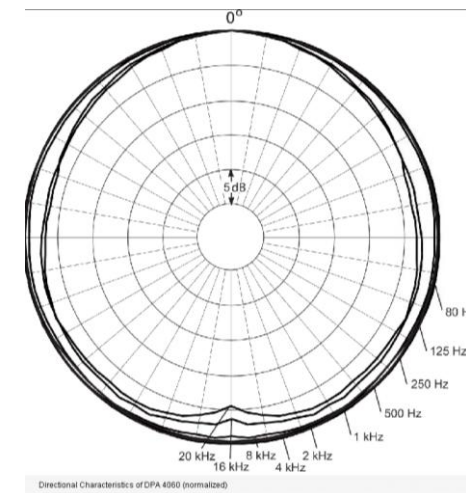
Microphone poids: 7.5 g incl. cable and MicroDot connector

Microphone diamètre 5.4 mm

Microphone length: 12.7 mm

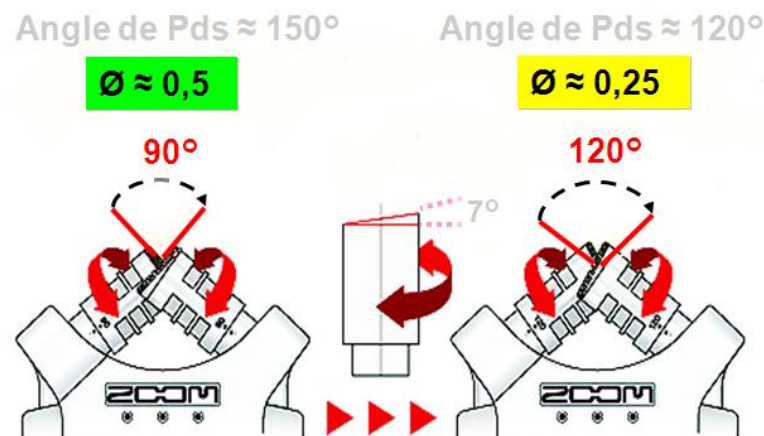
Polarity: Positively increasing sound pressure produces positive going voltage on MicroDot pin

Temperature de fonctionnement: -40 °C to 45 °C



Annexe 10

ZOOM H4n



Pour les couples coïncidents:

$$\emptyset = a + (1 - a) \cdot \cos \theta$$

<i>Omni</i>	$a = 1$
<i>Cardio</i>	$a = 0,5$
<i>Bi</i>	$a = 0$

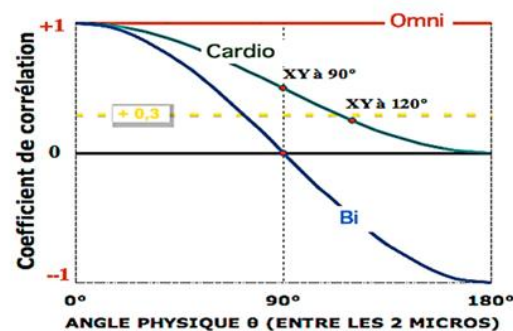
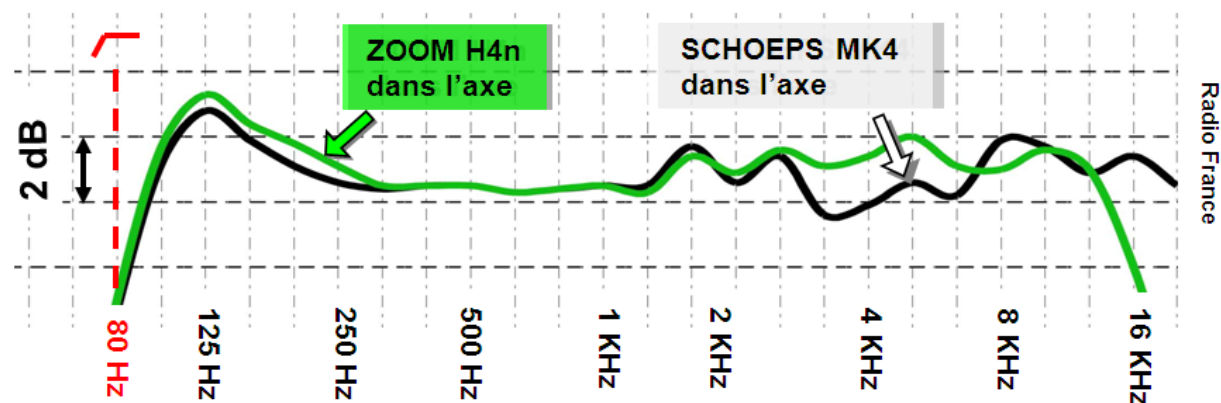


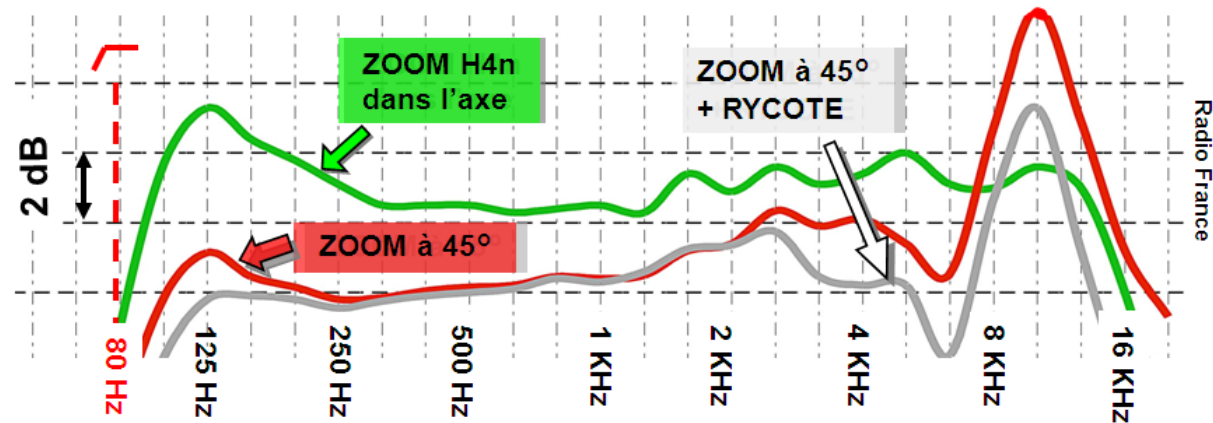
Illustration B.Lagnel

ZOOM H4n : “ Commercial ”.



- ✓ Enregistrement des **4 canaux** sur 2 fichiers stéréo **wave**.
- ✓ Carte flash **SD** (max 32 G ≈ 16 heures).
- ✓ Filtre coupe bas à **80 Hz**.
- ✓ Enregistrement en 48 KHz et en **24 Bits**.
- ✓ Encaisse les forts niveaux (au niveau des préamplis).

ZOOM H4n : “ Anti-commercial ”.



- ✓ Très sensible aux bruits de manipulation ⇒ **suspension**.
- ✓ Pré réglage du niveau d'enregistrement.
- ✓ Très sensible au vent ⇒ **Rycote** obligatoire.
- ✓ Léger souffle des préamplis (-3dB à 8kHz, Q=1,5).
- ✓ Alimentation fantôme 48 v (LsRs) ⇒ autonomie ≈ **30 mn** !!

Annexe 11 : La méthode TOMATIS



Choisissez votre langue  Français

RESTEZ INFORMÉ ! INSCRIVEZ-VOUS À LA NEWSLETTER 



“ Apprenez à **écouter** pour communiquer ”

[Accueil](#) > [Méthode Tomatis®](#) > [Une pédagogie de l'écoute](#)

UNE PÉDAGOGIE DE L'ÉCOUTE - AUDIO-THÉRAPIE

On peut bien entendre et mal écouter.

Le message sonore est correctement entendu mais mal analysé sur un plan émotionnel. Le cerveau se protège en érigeant des barrières pouvant favoriser ainsi le développement de nombreux troubles.

On dit que "l'écoute est perturbée".

La Méthode TOMATIS stimule votre cerveau.

Vous effectuez des séances d'écoute répétées en utilisant des appareils spécialement conçus pour stimuler le cerveau et l'aider progressivement à mieux analyser le message sensoriel.

On dit que "l'oreille se met à l'écoute".

Une bonne écoute peut changer votre vie.

Votre oreille ne sert pas uniquement à entendre. Elle stimule votre cerveau et détermine votre équilibre. Une bonne écoute est donc primordiale pour favoriser le développement personnel.



VOUS ÊTES UN PROFESSIONNEL ?

Vous souhaitez ajouter la Méthode TOMATIS à votre activité professionnelle ?

 Recevez une documentation et découvrez nos offres de formation

APPAREIL PORTATIF SOLISTEN

Votre enfant ou vous-même pouvez désormais effectuer vos séances d'écoute depuis chez vous, grâce à l'appareil portatif SOLISTEN.

C'est pratique et toujours aussi efficace !

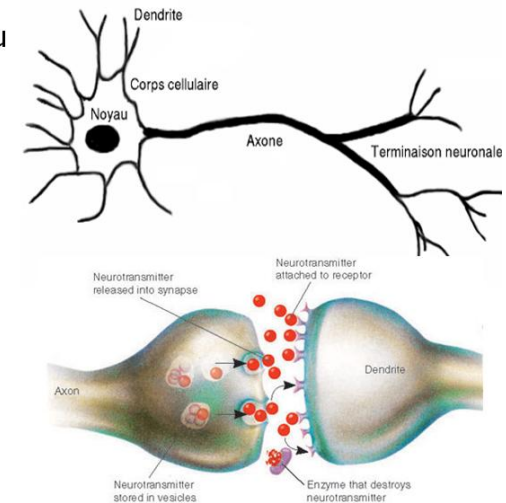
Annexe 12 : La plasticité du cerveau

Musique et plasticité cérébrale

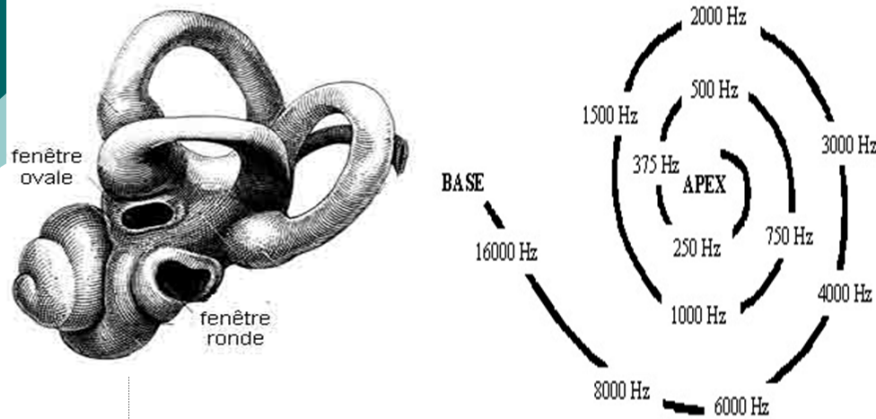
Patricia Moreau

Qu'est-ce que la plasticité cérébrale?

- Capacité du cerveau à remodeler ses connexions synaptiques (Hebb, 1949)
- Résulte de l'apprentissage, la mémoire et l'adaptation à des lésions cérébrales



L'oreille interne et la cochlée



Plasticité cérébrale – Période critique

- Enfance = apprentissage fonctionnel = organisation structurelle
- Par exemple, il est beaucoup plus facile d'apprendre à jouer d'un instrument de musique en jeune âge (habiletés motrices plus malléables et cortex auditif plus sensible à la réorganisation)
- Le même apprentissage plus tard dans la vie implique un plus grand effort



Étude de plasticité chez l'homme

- **Aveugles congénitaux** (Weeks et al. 2000)
 - Neuf aveugles de naissance sont comparés à neuf voyants.
 - PET (positron emission tomography)
 - On demande aux sujets de localiser des sons dans l'espace. Ils doivent bouger un manche de jeux vidéo dans la direction d'où venait le son.
 - Mesure comportementale de performance au niveau de l'identification de la localisation des sons.



Étude de plasticité chez l'homme

- **Résultats**
 - Comportemental: aucune différence entre les aveugles et les voyants
 - Lors de la localisation de sons dans un espace virtuel, on observe une activation de certaines parties du cortex pariétal postérieur dans une région séparée des aires visuelles.
 - Chez les sujets aveugles, on observe une plus grande portion de cette même région activée, mais on observe aussi une large activation du cortex occipital généralement dédié aux stimulations visuelles.

Météo

Belgique

23°
11°

Services >

rtbf.be

info

[Belgique](#)
[Régions](#)
[Monde](#)
[Europe](#)
[Eco](#)
[Société](#)
[Médias](#)
[Etc](#)
[Opinion](#)

Société

Accueil

Un chercheur est parvenu à contrôler un cerveau à distance

SOCIÉTÉ | Mis à jour le vendredi 30 août 2013 à 11h17

Article

Vidéo (1)

Images (2)

Commentaires

ENVOYER

IMPRIMER

Tweeter 5

Recommander 131

Images (2)

Un chercheur a réalisé la première interface de communication directe entre deux cerveaux humains, une première mondiale.

Vidéos

Direct Brain-to-Brain Communication in Humans: A Pilot Study

Les neurosciences ont franchi une nouvelle étape, depuis qu'un chercheur de l'université de Washington a réussi à connecter deux cerveaux humains entre eux. C'est une première mondiale, comme le rapporte le magazine en ligne Slate.fr.

C'est Rajesh Rao, informaticien et professeur à l'Université de Washington, qui a réalisé cette interface capable de connecter deux cerveaux humains entre eux. Celle-ci lui a permis d'utiliser ses pensées pour dicter une action simple à un assistant de recherche de la même université.

Comme on peut le lire sur Slate.fr, Rajesh Rao s'est coiffé d'une sorte de bonnet qui, à l'aide de capteurs, peut lire l'activité de son cerveau. Les informations sont alors envoyées jusqu'au receveur pour lui dicter une action, ou plutôt pour stimuler un réflexe.

Dans la vidéo ci-dessous, les deux chercheurs utilisent un simple jeu vidéo pour leur expérience. Alors que le receveur ne voit pas du tout le jeu, il presse la touche d'action au bon moment, stimulé par le contrôleur - face à l'écran - lorsque ce dernier pense à passer à l'action.

Rajesh Rao précise que seuls des signaux très simples peuvent être envoyés, et qu'on est encore bien loin de la télépathie ou du contrôle total d'un autre corps.