

La Prise de Son Animalière

Matthieu Houssin

Mémoire de fin d'étude
E.N.S. Louis Lumière

Section Son, 2006

Sous la direction de Francis Wagnier, directeur interne,

Et Philippe Barbeau, directeur externe

Rapporteur : Christian Canonville

Remerciements

Pauline Lestrelin

Philippe Barbeau

Aurore Clément

Guillaume Gibout

Jean Roché

Francis Wargnier, Christian Canonville

Micheline Martin et la société Areitec

Geoffroy Lechevalier, ma famille, et mes proches

Jean Wieger, Alexis Jung, Marie Averty, et toute la promo Son 2006

Nicole Delmar, les enseignants, et le personnel de l'ENS Louis Lumière

Partie théorique : La prise de son animalière

Sous-partie I : Panorama de la prise de son animalière, aujourd'hui, en France

Les passionnés
Les scientifiques
L'édition et la vente de sons
Le cinéma animalier
les «musiciens ornithologues »

Sous-partie II : Les outils et technique

Les microphones classiques
Le réflecteur parabolique
Les réseaux d'interférence
Les hydrophones

Sous-partie III : La prise de son animalière stéréophonique

Pourquoi la stéréo ?
Les couples classiques
Systèmes de parabole stéréo
Systèmes stéréo utilisant un microphone à interférence
La stéréophonie sous-marine

Bibliographie

Partie expérimentale: Stéréophonie et prise de son à distance

Description de l'expérience
Ecoute des enregistrements
Tests d'écoute
Analyse et conclusion

**Partie Pratique : prise de son du court métrage "La Grande Dispute"
(PPM de Guillaume Gibout, ciné 3)**

Avant-propos

J'ai souhaité, à travers ce mémoire, esquisser le portrait d'un aspect de la prise de son qui, quoi que concernant beaucoup de passionnés, reste peu étudié, et peu connu.

J'ai souhaité également mener dans mon travail une réflexion sur le sens théorique que peuvent avoir les idées des un et des autres, ce fourmillement d'amateurs, au sens noble du terme, qui expérimentent, cherchent, créent, par pure passion.

Plus que d'apporter des réponses, j'ai voulu me poser les questions que ma modeste pratique de la prise de son animalière avaient fait naître, sans prendre le temps d'y répondre.

Ce mémoire m'a apporté, j'espère, de mieux comprendre, rétrospectivement et pour l'avenir ce que j'ai fais et ferai sur le terrain, et plus généralement dans mon métier.

Il reste beaucoup, tout en fait, à explorer dans ce domaine. J'espère que d'autres y trouveront autant de plaisir que moi à le faire dans le futur...

Partie théorique

Sous-Partie I :

Panorama de la prise de son animalière, aujourd'hui, en France

Les passionnés
Les scientifiques
L'édition et la vente de sons
Le cinéma animalier
les «musiciens ornithologues »

Les passionnés

Les plus nombreux parmi les preneurs de son animalier sont les amateurs passionnés. S'intéressant souvent très jeunes aux oiseaux, et à la nature en général, ils font de l'observation de la nature en général, et de la prise de son animalière en particulier, la passion d'une vie. On ne sait combien ils sont ; Jean Roché évoque six milliers d'ornithologues amateurs en France, et jusqu'à deux millions en Angleterre ; mais tout les ornithologues ne sont pas preneurs de sons, tout comme les preneurs de sons ne sont pas tous ornithologues. Ils viennent en effet des horizons les plus divers :

- Des passionnés de certaines classes d'animaux, ornithologues ou entomologistes : ils s'intéressent à ces animaux, les enregistrer est l'une des multiples facettes de leur passion. Erudits, ils savent reconnaître des dizaines d'espèces, d'oreille comme de visu. Ils s'intéressent à leur biotopes, leur comportements, leur classification. Le son est pour eux un moyen d'identification, les enregistrements un moyen d'apprendre à les identifier, puis à les reconnaître.
- Des passionnés de technique : preneur de son, électroniciens, bricoleurs, l'enregistrement d'insectes ou d'oiseaux, réputé difficile, est pour eux un challenge. Les uns cherchent à optimiser leur équipement de pointe, les autres, plus nombreux, bidouillent leur propre système, le mettent au point progressivement pendant des années, et aiment autant partager leurs techniques que leurs sons
- Les chasseurs de sons : à la tête de grandes sonothèques, riches parfois de milliers d'espèces, la recherche de l'oiseau rare est pour eux prétexte à voyager au bout du monde. Ils seront fiers d'être seuls au monde à avoir enregistré telle ou telle espèce rare du Swaziland ou des îles Salomon.
- Enfin, d'autres sont tout simplement irrésistiblement attirés par la beauté des paysages sonores naturels, et cherchent, à la manière de photographes, à les immortaliser.

Bien sûr, si à l'origine les motivations sont diverses, elles ne tardent pas à se croiser, se mêler, et rares sont les passionnés de longue date qui ne font partie que d'une de ces catégories arbitraires ! Ils ont longtemps regroupés entre autres dans l'association « L'oiseau musicien », créée par François Charon. L'association organisait chaque année un colloque annuel réunissant plein de passionnés de tout genres, qui échangeaient leurs idées, leurs bons plans, leurs techniques. Alors qu'elle est aujourd'hui en train de disparaître, « Sonatura », jeune association créée autour de Fernand Deroussen, par ailleurs éditeur, est en train de prendre le relais. Forte d'environ 80 membres, elle publie régulièrement une revue éponyme, bien sûr accompagnée d'un disque, dans laquelle chacun peut faire partager un son intéressant, toujours accompagné d'une note explicative. L'association organise par ailleurs des rencontres annuelles, sur plusieurs jours au mois d'août, occasion d'échanger mais aussi d'aller sur le terrain. Enfin, un site internet (www.sonatura.com) équipé d'un forum actif permet à chacun de partager une information ou poser une question. Beaucoup d'autres associations, souvent régionales, regroupent d'autres passionnés.

Ces preneurs de son sont souvent des amateurs éclairés. Leur équipement est très variable, constitué parfois de matériel commercial, mais aussi au moins en partie, de matériel fait maison. Le mini-disque est le support roi, même si, pour les mieux équipés, l'enregistreur sur mémoire flash commercialisé par Edirol remporte un succès grandissant. Quant au microphone, beaucoup travaillent avec une parabole, considérée comme l'outil indispensable. Ils sont le plus souvent intéressés par le contenu d'une prise de son que par sa qualité intrinsèque, et ne sont pas liés par des contraintes de production, même si certains peuvent parvenir à un résultat professionnel. Plus que le résultat, c'est la passion qui compte !

Au-delà de cette passion, ils représentent un réel marché, plus encore en Angleterre que dans le reste de l'Europe ; ils sont toujours à l'affût de disques, de CD-roms, mais aussi de matériel de prise de son, de photo et d'observation. Certaines structures, comme le site web ornithomedia.com, créé en 2000, se sont spécialisées dans ce marché. Des constructeurs cherchent aussi à développer des produits spécifiques ; on devrait ainsi trouver prochainement sur le marché des enregistreurs très compacts, intégrant d'une part un microphone et une carte mémoire permettant d'enregistrer en MP3, et d'autre part une autre mémoire comportant un catalogue sonore de chants d'oiseaux ; l'utilisateur pourrait ainsi enregistrer un oiseau, puis l'identifier par comparaison *in situ*.

On le comprend, ces amateurs éclairés forment un ensemble hétéroclite de personnes où fourmillent les idées, les envies, les savoirs, en un mot la passion.

Les scientifiques

Plus confidentielle, la prise de son animalière dans le milieu scientifique est beaucoup moins connue ; dans ce domaine, la prise de son est un outil, non un but. Cet outil est en particulier utilisé par les éthologistes, qui étudient le comportement des animaux. Pour eux, les sons des animaux sont un de leurs moyens de communication, au même titre que leurs odeurs, leurs aspects, leurs comportements. Les enregistrer est un alors un moyen d'ouvrir le champ de recherches diverses, qui pourront porter sur, par exemple :

- l'apprentissage du chant non inné chez les oiseaux
- l'identification et la classification des espèces d'insectes grâce à des différences dans le chant
- la manière dont un petit manchot est capable de retrouver sa mère parmi des milliers d'individus
- la délimitation des territoires des animaux
- plus généralement, l'étude des relations sociales entre les membres d'un groupe ou des individus isolés.

La prise de son intéresse toutefois d'autres domaines, à commencer par la bioacoustique. C'est d'ailleurs d'un projet du laboratoire de bioacoustique de l'INRA qu'est issu le disque qui fait référence en matière de prise de son d'insectes : le projet *Entomophonia*, de Andrieu et Dumortier. (1)

Bien souvent, la gamme de matériel utilisé est celle du matériel de mesure ; le souci principal n'est pas l'image stéréo, mais la fidélité du timbre lors de l'enregistrement.

L'édition et la vente de sons

Secteur d'une grande diversité, l'édition, essentiellement de disques mais aussi de CDroms et DVD, consacrée aux sons de la nature regroupe différentes facettes.

Le pionnier dans ce domaine en France est bien sûr Jean Roché, qui publie dès 1957 chez Pacific son premier enregistrement, *Oiseaux en Camargue*, le début d'une longue aventure. Il se souvient de son matériel de l'époque (2) :

« Au départ, pas de paraboles, j'avais un accu secteur de 20 ou 25 Kg, un magnétophone Nagra, des rouleaux de câbles de 200 mètres, soient 80 Kg de matériel. Avec mon assistant, le jeu consistait à arriver à mettre les micros au plus près des animaux, donc à les installer avant leur arrivée, et attendre. Si on se trompait, on perdait la journée. »

En 1985, Il crée les éditions Sittelle, qui commercialisent depuis ses disques, et reste longtemps leader de ce marché en France. Il publie dans un premier temps des guides destinés aux ornithologues, confirmés ou débutants ; cette production est étendue par la suite à différentes collections : « les paysages sonores du monde », « les grands solistes », etc. Des collections aux objectifs différents, qui nécessitent des approches du son différentes.

Aujourd'hui, la situation est plus difficile ; Jean Roché, qui se consacre à la photographie, a vendu ses parts dans l'entreprise qui subit de plein fouet les difficultés du marché du disque, mais aussi la concurrence de l'entreprise Nashvert, de Fernand Deroussen, un ancien élève de Jean Roché.

L'un comme l'autre se retrouvent désormais à la tête d'une grande sonothèque ; l'un comme l'autre se servent de cette base pour vendre des sons pour de multiples usages, films, CD-Roms, voire répondants téléphoniques. Récemment, Fernand Deroussen a offert sa collection au Muséum d'Histoire Naturelle de Paris. De son côté, Jean Roché explique (2) :

« Pendant 20 ans, j'ai essayé de monter une fondation, pour créer une sonothèque mondiale. J'ai été en contact avec bien des ministres, rien n'a abouti. Aujourd'hui j'ai une sonothèque de 3000 heures, je me pose la question de son avenir, mon fils ne s'y intéresse pas. Je l'entretiens, chaque matin, tranquillement, je numérise une ou deux bandes. J'essaie de la vendre. »

« Quand on donne sa sonothèque, on ne sait pas ce qu'elle deviendra. J'ai donné autrefois une partie de ma sonothèque au National Sound Archive à Londres, qui avait un département chant d'oiseaux, mais n'en a jamais rien fait. Ma sonothèque m'a coûté des millions d'euros, je veux donc la vendre très chère; c'est la seule garantie qu'elle aura un avenir, que ceux qui feront l'investissement voudront la faire vivre ensuite. »

L'édition de disques animaliers et la vente de sons représente, malgré sa perte de vitesse en France, un marché important, comme le montrent ces données financières (3) :

Chiffre d'affaire (en euros)

	2005	2004	2003
Sittelle	146 567	128 457	233 646
Ceba	88 736	90 189	93 632
Nashvert	N.C.	241837	221 888

Résultat (en euros)

	2005	2004	2003
Sittelle	5 033	-16 474	10 617
Ceba	7414	212	15
Nashvert	N.C.	11 599	6 740

On note que le CEBA compte en plus parmi ses activités la revente de matériel de prise de son, en particulier les paraboles Telinga.

Le cinéma animalier

Facette essentielle de la prise de son animalière, la prise de son pour le cinéma animalier est l'une des plus exigeante. Dans un contexte de production, où la qualité reste la norme, on veillera aussi bien à une restitution la plus exacte et réaliste possible, qu'à un souci constant d'esthétisme.

Le film fondateur, *La griffe et la dent*, réalisé par Gérard Vienne et François Bel, resté une référence de premier ordre aujourd'hui, avait fait sensation à sa sortie en 1976. Fruit d'un long tournage de deux ans, suivi d'une année de montage, il a su le premier sortir d'une forme classique de documentaire, où une voix off décrit scientifiquement le comportement des animaux à l'image, pour mettre en avant une recherche esthétique, tant au niveau de scénario et de l'image que de la bande sonore, primée à Cannes à sa sortie.

La production actuelle en France comporte, d'une part, des projets ambitieux destinés au cinéma, comme *Microcosmos* ou le *Peuple Migrateur*, qui représentent un travail de fond sur plusieurs années, alliant information documentaire et recherche esthétique poussée. La bande sonore, élaborée comme l'image pendant plusieurs années, fait l'objet d'un soin exceptionnel. Si plusieurs ingénieurs du son ont travaillé sur de tels projets, comme Denis Guilhem et Jean-Baptiste Benoit, Philippe Barbeau reste la personnalité de référence dans ce domaine. Son travail sur *Microcosmos*, par exemple, en dit long sur la recherche sonore dont a fait l'objet ce film. A partir d'un cahier des charges très précis des réalisateurs, il a réalisé sur plusieurs années des semaines d'enregistrements, d'abord sur le terrain, puis en chambre sourde à l'INRA ; un travail de fond qui a permis de constituer une fantastique sonothèque dans lequel le monteur, Laurent Quaglio, a puisé les éléments de la bande sonore. Ce film fût César du meilleur son en 1997.

Dans ce domaine, si le réflecteur parabolique est parfois utilisé, ce sont les microphones plus classiques qui prédominent : statiques, à directivité omnidirectionnelle ou cardioïde, ils répondent le mieux à l'exigence de qualité du cinéma. Le magnétophone multipiste est régulièrement utilisé : Deva IV pour Philippe Barbeau ou Cantar pour Denis Guilhem, ils permettent d'associer plusieurs types de microphones (du couple d'omni à la parabole) pour éventuellement associer ensuite des valeurs de plans sonores à celles des plans images. De tels magnétophones sont aussi indispensables pour enregistrer des ambiances en multicanal.

D'autre part, la production est plus importante en volume pour le marché de la télévision, mais les impératifs de production ne permettent évidemment pas un tel travail de fond, qui souvent se limite plus à la restitution des informations sonores « utiles » qu'à un véritable travail de création que permet le cinéma.

Les «musiciens ornithologues»

Depuis toujours, la Nature a inspiré l'Art, et les oiseaux les musiciens.

Mais le plus grand musicien ornithologue reste sans doute à ce jour Olivier Messiaen (compositeur français, 1908-1992), qui trouvait dans les chants d'oiseaux tout à la fois inspiration et idéal musical (4) :

« C'est là que réside pour moi la musique. La musique libre, anonyme, improvisée pour le plaisir, pour saluer le soleil levant, pour séduire la bien-aimée, pour crier à tous que le pré ou la branche sont à vous, pour arrêter toute dispute, dissension, rivalité, pour dépenser le trop-plein d'énergie qui bouillonne avec l'amour et la joie de vivre, pour trouver le temps et l'espace et faire avec ses voisins d'habitat de généreux et providentiels contrepoints, pour bercer sa fatigue et dire adieu à telle portion de vie quand descend le soir.

« Divinement parle Maria Rilke : 'Musique : haleine des statues, silence des images, langue ou prennent fin les langues...' ! Le chant des oiseaux est encore au-dessus de ce rêve du poète. Il est surtout très au-dessus du musicien qui essaie de le noter. »

Chacun garde en tête l'image de Messiaen, crayon à la main dans un bois de Sologne ou une garrigue provençale, notant sur partition les chants de ces oiseaux, ce qui n'est pas sans difficulté, et le pousse à tenter aussi une autre méthode (5) :

« Il faut non seulement être bon musicien, mais il faut avoir une très bonne oreille et être capable d'écrire très vite, parce que, malheureusement, l'oiseau chante à toute vitesse. (...). Maintenant, quand je fais une promenade ornithologique, je vais avec ma femme qui porte un magnétophone. Elle enregistre ce que, moi, je note au crayon sur du papier à musique. Rentré à la maison, je fais une deuxième notation d'après l'enregistrement. Ce qui coûte autant de mal que sur le terrain, sauf que je suis confortablement assis.

« Ce qui est curieux, c'est que le magnéto donne une reproduction très exacte, beaucoup plus exacte que l'autre notation. Mais celle-ci, prise directement dans la nature, comporte des milliers de variantes de la réalité. Elle est donc beaucoup plus artistique. Alors, le mélange des deux notations peut aider à s'approcher de la réalité. »

Messiaen, sans doute, se souciait plus de disposer d'un appareil léger et simple d'usage, que du rendu stéréo d'un système MS dans une parabole ; plus encore que pour les ornithologistes, les musiciens utilisent le magnétophone comme un outil de « notation ». Mais ceux-ci, en concourant à élever les oiseaux au rang de musiciens, ont sans doute beaucoup contribué à susciter l'intérêt du public pour les chants de ces derniers, et été une grande source d'inspiration pour les passionnés, qu'ils ont aidé, par leur regard d'artiste, à atteindre la jubilation dont parle si bien Jean Roché.

Et il suffit d'écouter les œuvres musicales de Messiaen, tel le *catalogue des oiseaux*, pour ne pas hésiter à parler de la notation musicale comme d'un système de prise de son à part entière, même si son étude sortirait de la problématique du présent mémoire.

Partie théorique

Sous-Partie II :

Les outils et techniques

Les microphones classiques

Le réflecteur parabolique

Les réseaux d'interférence

Les hydrophones

Les microphones classiques

Incontournables, les microphones dits « classiques » ont tout à fait leur place dans les applications à la prise de son animalière. Tant qu'on ne cherche pas à isoler un sujet précis, ou à capter le son d'un animal à forte distance de celui-ci, ces microphones restent les outils idéaux : simple à mettre en œuvre, d'excellente qualité, ils sont dans beaucoup de situations les plus adaptés.

Les microphones omnidirectionnels sont utilisés pour restituer des ambiances globales, des « paysages sonores », quand on cherche à restituer avec réalisme une scène sonore.

Les microphones directifs, cardioïde ou hypercardioïde, sont pour leur part utiles pour enregistrer un sujet précis, en proximité ou semi-proximité ; ils permettent éventuellement de souligner discrètement un sujet parmi d'autres.

En proximité, les micros dynamiques sont plus faciles d'usage : plus robustes, résistants mieux à l'humidité, ils seront à même d'encaisser de forts niveaux acoustiques, ce qui est parfois nécessaire par exemple avec des insectes comme les sauterelles.

Les microphones statiques trouvent leur plein usage dans des prises statiques d'ambiances, ou la captation de sources à faible niveau sonore.

On trouve fréquemment sur le terrain les DPA 4006, toute la série MK de Schoeps, ainsi que la série Sennheiser MKH ; pour les dynamiques, le Beyer M88.

Le réflecteur parabolique

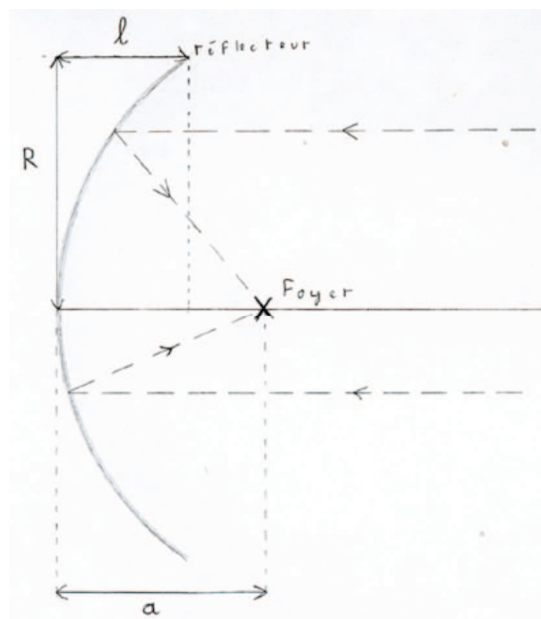
Le principe de ce type d'instrument est très simple : récupérer le maximum d'énergie acoustique venant d'une source donnée, donc d'une direction donnée, et de la concentrer sur la membrane du microphone. Pour cela, on utilise un réflecteur parabolique : il s'agit d'une surface, de forme parabolicoïde, qui est placé face à la source.

Les parabolicoïdes sont caractérisés par trois longueurs :

R, le rayon d'ouverture de la parabolicoïde, et par extension son diamètre D

l, la distance entre et le plan de l'ouverture de la parabole

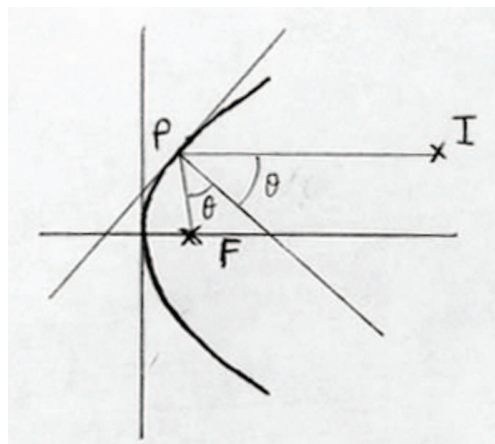
a, la distance entre et le point F défini ci-dessous



Les parabolicoïdes ont en effet une propriété géométrique particulière :

Il existe un point F, situé sur l'axe x , tel que :

- Quel que soit le point I, pour toute droite PI parallèle à l'axe x , l'angle IPF est coupé en deux angles égaux par la perpendiculaire en P à la tangente en P ;
- Quel que soit le point I, pour toute droite PI parallèle à l'axe x , la distance IPF est constante.



Appliqué à notre instrument, toute onde parallèle à l'axe x , c'est-à-dire l'onde de toute source pointée par le réflecteur, est donc réfléchi au même point F, appelé foyer de la parabole. Les ondes venant d'autres axes sont réfléchis en dehors de ce foyer.

Cette propriété est connue depuis longtemps, si on en croit ce texte (6) :

"En orientant une sorte de miroir vers le soleil [Archimède] concentra les rayons du soleil vers la flotte romaine ; et, grâce à l'épaisseur et à l'aspect lisse du miroir il enflamma l'air et alluma une grande flamme qu'il orienta, à l'aide du miroir, vers les bateaux qui mouillait dans la trajectoire du feu, jusqu'à ce qu'ils se soient tous consumés".

Aujourd'hui, elle est utilisée couramment : réflecteurs de phare de voiture, antenne satellite, concentrateur d'énergie solaire, etc.

Dans notre cas, il suffit donc alors de placer un microphone au foyer du réflecteur, et celui-ci reçoit la somme des ondes sonores réfléchies qui proviennent de la direction axiale du réflecteur.

Les avantages d'un tel système sont importants ; d'une part la directivité excellente, bien plus précise qu'avec le micro à interférence, d'autre part, le gain en amplification acoustique.

En effet, puisque au foyer s'ajoutent un grand nombre d'ondes réfléchies, l'onde résultante est d'une puissance bien supérieure à celle d'une seule de ces ondes directes. Le réflecteur joue donc le rôle d'un amplificateur, qui relève le niveau des sources axiales ; mais cet amplificateur sera acoustique, ce qui réduit d'autant la nécessité d'une amplification électronique génératrice de bruit de fond. Or, cette question de l'amplification électronique est doublement cruciale, puisqu'on travaille ici avec des niveaux assez faible vu la distance, dont l'amplification pose problème tant en termes de qualité sonore que d'autonomie en alimentation électrique sur le terrain.

S'agirait il alors d'un système parfait, qui permettrait d'isoler totalement une source à des centaines de mètres de distance ? Évidemment non, la réalité de cet instrument étant beaucoup plus complexe, comme nous allons le voir.

- Sons axiaux

Le procédé ne permet pas d'isoler une source unique dont le son sera focalisé, mais toutes les sources se trouvant dans l'axe. Un autre oiseau, une mouche à quelques mètres de la parabole, une route de l'autre côté du bosquet, seront autant de sources sonores captées et amplifiées par le réflecteur.

- Problème avec le son direct

Certes, le foyer reçoit les ondes réfléchies venant de l'axe. Mais d'autres ondes sonores sont également présentes au foyer : les ondes directes, celles venant d'une autre direction que la direction axiale, mais aussi celles venant directement de celle-ci. Les premières ont pour conséquence que d'autres sons sont captés par le microphone, et non

pas ceux venant de l'axe de la source. Les secondes quant à elles sont susceptibles d'engendrer une opposition de phase entre onde directe et onde réfléchie.

Cet inconvénient peut être limité en utilisant préférentiellement au foyer un micro directif ; la directivité cardioïde est bien adaptée, puisqu'elle reprend à un niveau équivalent toutes les ondes réfléchies, mais atténue les ondes latérales (autres sources non souhaitées), et surtout les ondes arrières (source principale « directe » risquant d'engendrer des oppositions de phase).

- Caractéristique de l'amplification acoustique du réflecteur

On en vient naturellement à se poser une question : quel est le gain en amplification acoustique apporté par l'utilisation d'un réflecteur parabolique ?

On peut définir ce gain comme le rapport entre la puissance sonore reçue d'une source distante au foyer du réflecteur, et la puissance sonore reçue au même point en absence de réflecteur (c'est-à-dire le niveau de l'onde directe) :

$$g = \frac{P_{\text{réflecteur}}}{P_{\text{direct}}}$$

$$G = 10 \log \left(\frac{P_{\text{réflecteur}}}{P_{\text{direct}}} \right)$$

Dans le domaine des liaisons satellite, on utilise ainsi la formule suivante pour calculer le gain des antennes paraboliques (7) :

$$G = 10 \log \left(4\pi \cdot \left(\frac{A \cdot \eta}{\lambda^2} \right) \right)$$

Avec A la surface d'ouverture de la parabole, égale à $\frac{\pi \cdot D^2}{4}$

η le rendement du réflecteur

λ la longueur d'onde de la source émise, égale à $\frac{c}{f}$

Soit $g = \eta \cdot \frac{\pi}{c^2} \cdot D^2 \cdot f^2$

Ce qui donne, développé et exprimé en décibel :

$$G = 20 \log \left(\frac{\pi}{c} \right) + 10 \log(\eta) + 20 \log(D) + 20 \log(f)$$

Cette formulation a le mérite de permettre de constater aisément que le gain d'amplification dépend essentiellement de trois facteurs :

- deux d'entre eux sont liés aux caractéristiques du réflecteur, à savoir son rendement et son diamètre
- l'un dépend de la fréquence de la source

Le premier facteur, le rendement de la parabole, signifie, de manière assez logique, que plus le réflecteur sera réfléchissant, plus l'amplification résultante sera élevée. Le rendement est influencé essentiellement par le choix des matériaux, la qualité de sa réalisation, et la géométrie de la parabole. On reviendra sur ces points plus précisément.

Le second facteur signifie que plus le diamètre de la parabole sera grand, plus son facteur d'amplification sera important. Cela est malheureusement contradictoire avec l'aspect pratique de ce système destiné à être déployé facilement sur le terrain, et à être maniable. On verra plus bas quel critère de choix intervient alors pour le diamètre.

Le troisième facteur, lui, est significativement problématique : le facteur d'amplification du réflecteur dépend de la fréquence de la source. Derrière cette remarque, se cache le défaut majeur de ce système : sa réponse en fréquence nullement plate, mais bien au contraire très fortement sensible aux variations de fréquence. Plus la fréquence est élevée, plus le son est amplifié fortement. Une restitution fidèle en termes de timbre avec un tel système est donc immédiatement à oublier, ce qui, pour beaucoup d'applications, est rédhibitoire.

Cette approche théorique a cependant ses limites. En effet, cette formule est utilisée dans un cadre de liaisons satellites ; elle est en fait une approximation, basée entre autres sur le fait qu'on travaille alors en haute fréquence, et donc avec de fortes amplifications.

Wahlström (8) propose pour sa part un modèle plus complet. Il s'est basé sur le rapport entre la pression acoustique au foyer du réflecteur, et la pression acoustique au même point en absence de réflecteur :

$$g = \frac{P_{\text{réflecteur}}}{P_{\text{direct}}}$$

$$\text{Soit } G = 20 \log \left(\frac{P_{\text{réflecteur}}}{P_{\text{direct}}} \right)$$

L'étude de Wahlström est basée sur l'étude des potentiels de vitesse des ondes incidentes et réfléchies. Ainsi le potentiel de vitesse d'une onde portée par l'axe des x s'exprime :

$$\Phi_i = e^{jkx}$$

On en déduit sa composante normale à la surface au point d'incidence :

$$\frac{\partial \Phi_i}{\partial n} = -jke^{jkx} \cdot \cos(\vec{n}, \vec{x}) \quad \text{avec} \quad k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

On suppose alors que chaque élément infiniment petit de la surface reçoit la même onde incidente, et la réfléchit ; on calcule alors par double intégration la somme de tout les potentiels de vitesse réfléchis. Toutefois, il est important de préciser ici que l'on considère

- que toute la surface de la parabole est attaquée par une onde homogène, approximation indispensable pour rendre viable une étude théorique
- que l'onde sonore est intégralement réfléchi. C'est une approximation qui implique que le coefficient d'absorption du matériau ne sera pas pris en compte dans la suite, alors que dans la réalité une partie seulement de l'onde incidente est réfléchi.

$$\begin{aligned}\Phi_r &= \frac{-1}{2\pi} \cdot \iint \frac{\partial \Phi_s}{\partial n} \cdot \frac{e^{-jkr}}{r} \cdot dS \\ &= \frac{jke^{-jka}}{2\pi} \cdot \iint \frac{\cos(\vec{n}, \vec{x})}{x+a} dS\end{aligned}$$

Dont le calcul permet d'obtenir

$$\Phi_r = 2jak \cdot e^{-jka} \cdot \ln\left(1 + \frac{l}{a}\right)$$

La pression acoustique d'une onde dérivant de son potentiel de vitesse suivant la loi

$$P = -\rho \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial r}$$

On peut calculer le rapport

$$F_p = \left| \frac{p_a}{p_i} \right| = \left| \frac{j\omega\rho \cdot (\Phi_i + \Phi_r)}{j\omega\rho \cdot \Phi_i} \right| = \left| 1 + \frac{\Phi_r}{\Phi_i} \right|$$

Qui nous donne

$$F_p = \left\{ 1 + \left[4\pi \cdot \frac{a}{\lambda} \cdot \ln\left(1 + \frac{l}{a}\right) \right]^2 + 8\pi \cdot \frac{a}{\lambda} \cdot \ln\left(1 + \frac{l}{a}\right) \cdot \sin\left(4\pi \frac{l}{a}\right) \right\}^{\frac{1}{2}}$$

En faisant l'approximation que l'onde incidente est négligeable par rapport à la somme des ondes réfléchies, on obtient :

$$F_p = 4\pi \cdot \frac{a}{\lambda} \cdot \ln\left(1 + \frac{l}{a}\right)$$

Il faut noter que le premier cas est valable lorsqu'on utilise un micro cardioïde, auquel cas l'onde incidente directe sera en effet négligeable puisque éliminée par le micro ; le second cas correspond à l'utilisation d'un micro omnidirectionnel qui prendra en compte l'onde directe.

Ces deux expressions permettent de tracer les courbes de réponses théoriques du réflecteur, dans les cas d'une utilisation avec micro cardioïde ou omnidirectionnel.

- Problème du rendement du réflecteur

1/ prise en compte de la structure géométrique du réflecteur

On peut réécrire l'expression sous la forme :

$$F_p = \frac{\pi}{c} \cdot f \cdot D \cdot \eta^{\frac{1}{2}} \quad \text{avec} \quad \eta = \frac{a}{l} \cdot \ln^2 \left(1 + \frac{l}{a} \right)$$

On retrouve alors la formule utilisée au début de cette étude, avec une estimation de η ; on voit que celle-ci dépend du rapport $\frac{l}{a}$, qui influe donc linéairement sur le gain de la parabole.

Wahlström montre dans son étude que le rendement optimal est obtenu pour un rapport 4. Dans la pratique, le rapport 1 est généralement utilisé tant pour des raisons de facilité de fabrication que de facilité d'usage ; placer la capsule du micro dans le plan de l'ouverture de la parabole restant plus simple que de mesurer un éventuel rapport 4, mètre ruban à la main. La perte résultante comparée à un rapport 4 étant inférieure à 2 dB, cela semble un bon compromis.

2/ prise en compte des matériaux utilisés

On a négligé, pendant l'étude du gain apporté par le réflecteur, de prendre en compte le comportement des matériaux utilisés pour le réflecteur. Ce matériau influe de plusieurs façons sur le résultat. Le plus évident est une influence du coefficient d'absorption du matériau sur le rendement du réflecteur ; il convient donc d'utiliser un matériau réfléchissant.

Dans les faits, on constate qu'avec des matériaux adéquats, la perte due à l'absorption est négligeable par rapport au gain du réflecteur. Toutefois, ces coefficients tendent à diminuer avec la fréquence, ce qui tend donc à aggraver le problème de restitution des basses fréquences.

A l'inverse, on a intérêt à utiliser, pour la face convexe du réflecteur, un revêtement en matériau absorbant qui d'une part atténue les ondes sonores susceptibles de traverser le réflecteur depuis l'extérieur, et par ailleurs réduit d'éventuels bruits de chocs et de manipulation : ne serait-ce qu'une petite branche frottant de trop près une parabole après une mise en place précipitée.

Par ailleurs, les anciens matériaux utilisés, essentiellement métalliques, avaient l'inconvénient de présenter des fréquences de résonances dans un spectre proche de ceux de certains oiseaux ; la captation étaient alors quelque peu perturbée par le son de la résonance du réflecteur particulièrement mal venue dans l'optique d'un enregistrement de qualité. Ces problèmes, avec les matériaux utilisés dans les paraboles modernes, sont aujourd'hui révolus.

- Problèmes d'interférences en haute fréquence

Toutes les courbes de réponses en fréquence mesurées sur des systèmes basés sur des réflecteurs que nous avons pu trouver lors des recherches pour ce mémoire présentaient une chute du gain dans l'aigu. Cet aspect est en contradiction avec la

théorie qui prévoit un gain croissant avec la fréquence, et présente donc une anomalie, qui apparaît de manière systématique par rapport aux courbes théoriques ; pour autant, ni les constructeurs, ni les chercheurs ne fournissent avec ces courbes d'explications convaincantes sur ce phénomène, les uns le passant sous silence, d'autres évoquant une mesure imprécise.

On a vu que par définition, toutes les ondes sonores réfléchies arrivent en phase au foyer. Cela implique que d'une part, la construction du réflecteur soit très précise, d'autre part que le micro soit correctement placé. On comprend que ces contraintes feront forcément l'objet d'approximation, alors même qu'il était précisé, au début de cette étude, que le foyer ne peut pas en pratique être considéré comme un point, mais comme une zone de focalisation. La précision et la régularité de la construction ne permettent pas d'assurer une paraboloïde parfaite ; enfin, le placement même de la membrane du microphone au foyer n'est pas toujours aisée, parce qu'elle n'est pas toujours facile à situer exactement selon le type de microphone, de plus la membrane elle-même aura un certain diamètre, souvent de l'ordre de 2 cm.

On se propose donc d'étudier l'impact de ces imprécisions sur le fonctionnement du réflecteur.

Suivant la construction de la parabole, la distance parcourue par une onde sonore, à partir d'un point de départ situé un instant donné avant le réflecteur, n'est pas censée varier suivant le chemin emprunté. Par exemple, en prenant le cas, courant, d'un foyer situé sur le plan de l'ouverture du réflecteur :

L'onde passant par le centre parcourt à partir de sa source une distance égale à :

$$L_c = D + f + f$$

Tandis que l'onde « extérieure » parcourt à partir du même point une distance égale à :

$$L_e = D + r$$

Prenons l'exemple d'une parabole de diamètre utile 54 cm, donc d'un rayon égal à 27 cm. L'indication du constructeur de cette parabole indique un foyer situé à 13 cm à un demi-centimètre près du fond de la parabole.

Sur la base de 12,5 cm, il interviendrait une différence de marche de $r - 2f = 2$ cm ;

Prenons un autre exemple : une parabole d'un diamètre de 80 cm, dont le système de fixation est composé de montures sur lesquelles sont tendus des élastiques dans lesquels sont coincés les microphones. Supposons que le microphone est placé par l'opérateur dans l'axe vertical à 1 cm près, soit une précision de 1%. Entre les deux ondes arrivant au bord supérieur et inférieur, on constate de nouveau une différence de marche de 2 cm.

On pourrait ainsi multiplier les exemples de sources de différences de marche, à commencer par la simple largeur de la capsule, qui ne reçoit pas comme d'ordinaire un faisceau d'onde identique venant de la même direction, mais bien un faisceau d'ondes identiques venant de toutes les directions. Une précision globale d'un tel système en dessous du centimètre près est impossible à espérer. Et une précision d'un centimètre près, cela veut dire une marge d'erreur potentielle de deux cm, ce qui correspond à la demi-longueur d'onde d'un signal de fréquence 8 kHz. Strandberg lui-même, ingénieur chez Telinga, explique que « le réflecteur n'est pas un système de

précision » (9). Le risque d'interférences dans le haut du spectre devient donc important dans la pratique.

Mesures en chambre anéchoïque

Backman (10) a réalisé en 2002 une série de mesure en chambre anéchoïque sur un système utilisant un réflecteur. Ces mesures mettent en évidence la plupart des points évoqués ci-dessus :

- réponse en fréquence : jusqu'à environ 6 kHz, le gain est régulièrement croissant, avec un écart de niveau de près de 20 dB entre 200 Hz et 6kHz ; au dessus de 10 kHz, une chute brutale du gain se produit. Avec une capsule omnidirectionnelle, on constate un trou aux alentours de 2 à 3 kHz.
- Réponse impulsionnelle : on constate d'une part un gain important entre excitation et réponse ; surtout, on vérifie qu'avec une capsule omnidirectionnelle apparaît un pré-écho (l'onde directe), ce qui n'est pas le cas quand la même mesure est réalisée avec une capsule cardioïde.
- Directivité : l'auteur présente une courbe de réponse en fréquence, relative à la réponse dans l'axe pour une meilleure visibilité, à 5, 10, et 15 degrés. Il apparaît un fort lien entre la directivité et la fréquence, ce qui est logique puisqu'on a vu que le gain dans l'axe dépendait de celle-ci ; par ailleurs, pour les mesures à partir d'un angle de 5°, on constate une chute de gain de près de 10 dB ; à 15 degrés, la réponse peut être assimilée à ce qu'elle serait sans le réflecteur. Le système reste donc d'une directivité exceptionnelle.

Utilisations de la parabole

Le réflecteur parabolique, dans l'audio, est un outil présentant bien des avantages pour certaines applications : sa directivité est évidemment son point fort, aucun autre système n'atteignant une telle précision.

Il semble que son utilisation soit plus recommandée avec un microphone directif, qui évite l'interférence avec l'onde directe, et améliore la réjection des sons latéraux ; l'utilisation d'une capsule omnidirectionnelle a cependant l'avantage d'un meilleur rendu dans les basses fréquences, justement du fait de la présence de plus de son direct.

Il reste que cet outil dégrade considérablement le signal par lequel il transite, ce qui le réserve à certains usages bien précis. Il est parfaitement adapté aux ornithologues, plus préoccupés par les problèmes liés à l'isolement et l'identification de la source qu'à la qualité de restitution des timbres.

Dans un domaine très différent, il est aussi utilisé dans les retransmissions sportives ; il n'est pas rare de croiser sur le bord d'un terrain de football lors d'un grand match diffusé un opérateur muni d'une parabole, qui cherche ainsi à capter, pour un maximum de réalisme, le son du coup de pied dans le ballon au point de penalty. Un fervent amateur m'a un jour confié qu'il se souviendra toute sa vie du son qu'avait fait le ballon heurtant la barre transversale au cours du quart de finale France-Italie en 1998... Ce type d'utilisation tend toutefois à disparaître, comme me l'a expliqué un opérateur d'une grande chaîne, au profit de « bruiteurs » armés d'un séquenceur qui lancent en direct à l'antenne des sons « d'animations » censé apporter du réalisme à un match ou une course cycliste.

Le marché des paraboles

A ma connaissance, quatre marques proposent des réflecteurs paraboliques :

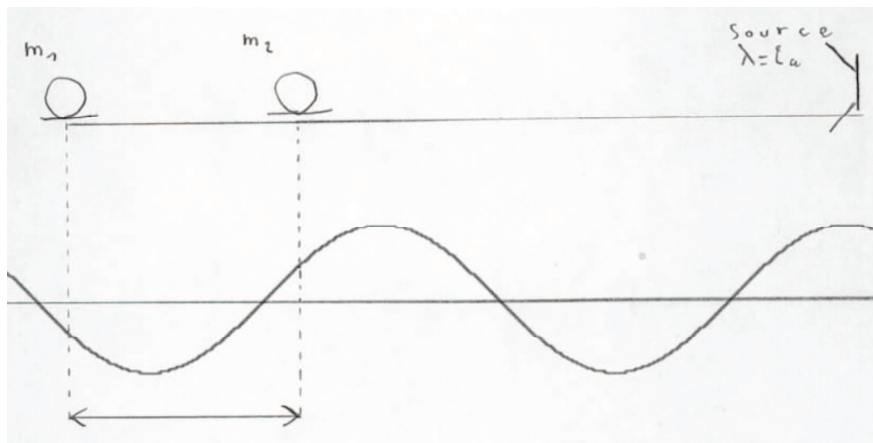
- un kit commercialisé par Conrad, comprenant un réflecteur de 40cm de diamètre
- la marque Amberwood, distribuée uniquement en Angleterre, propose deux modèles sans microphones
- Canford distribue sous les références Big Ears et Lil'Big Ears des réflecteurs destinés au marché des retransmissions sportives
- Enfin la marque Telinga, la plus connue et reconnue dans le milieu de la prise de son animalière, propose différents modèles, avec ou sans microphones. Ces produits sont particulièrement évolués aujourd'hui, légers (moins d'un kilo), facilement transportables (démontables, on peut même les rouler dans un sac de transport), et pouvant disposer d'un équipement complet (alimentation phantom intégrée dans le manche, connectique sur demande, etc.)

Perspectives d'évolutions

Les paraboles sont des produits que l'on peut aujourd'hui considérer comme arrivés à maturation ; de grands progrès ont été réalisés en termes de poids, de réponse, d'équipements. Il ne semble pas envisageable de trouver des réponses aux défauts inhérents au système, justement parce qu'ils sont tous liés au concept même qui les fonde. Des outils, dans le monde des communications satellites ou de l'astronomie, offrent des directivités plus prononcées grâce à des systèmes à double réflecteur (type Cassegrain par exemple) ; l'intérêt de cette amélioration potentielle, alors que la directivité n'est pas l'élément qui pose problème, mais qu'un tel système aggraverait les problèmes de timbres et le rendrait plus encombrant et complexe à manier sur le terrain, semble limité.

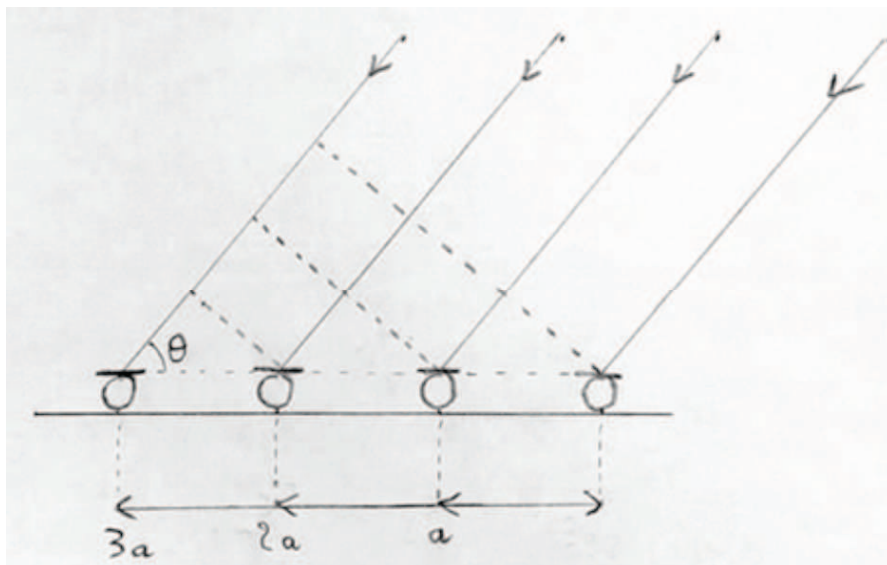
Les réseaux à interférences

On le verra avec le couple AB, utiliser deux microphones distants permet d'obtenir deux signaux décalés dans le temps, puisque, en dehors de l'axe d'équidistance, une onde mettra plus de temps à parvenir à un microphone qu'à l'autre. Cette propriété sera utilisée avec profit pour créer des systèmes stéréo basés sur la différence de temps. Mais, si nous restons dans le cadre monophonique qui est le notre pour l'instant, et que l'on place sur le même axe une source sonore de longueur d'onde $2a$, et deux microphones, séparés d'une distance a , dont on additionne les signaux, la somme des deux signaux donnera un signal nul, ceux-ci étant alors en opposition de phase :



En revanche, une source sonore placée perpendiculairement à l'axe des microphones, à une distance très grande devant a , arrivera en phase sur les deux microphones ; leur somme sera donc un signal identique à celui de la source, mais avec une amplitude deux fois supérieure à celle captée par un seul de ces microphones.

Supposons maintenant un faisceau d'ondes incidentes quelconques formant un angle θ avec l'axe d'un système de quatre microphones :



Par rapport au microphone 1 :

- Le microphone 2 recevra le signal avec un retard de $\frac{a \cdot \cos(\theta)}{c}$
- Le microphone 3 recevra le signal avec un retard de $\frac{2a \cdot \cos(\theta)}{c}$
- Le microphone 4 recevra le signal avec un retard de $\frac{3a \cdot \cos(\theta)}{c}$

La somme de ces quatre signaux, en raison des multiples différences de phase, est ainsi un signal qui, par rapport à celui de la source d'origine, est partiellement annulé par interférence.

L'utilisation d'un réseau de microphones alignés sur un axe est ainsi susceptible de créer un système qui, en sommant les différents signaux obtenus, fonctionne sur le principe suivant :

- les sources perpendiculaire à l'axe sont reproduites fidèlement et largement favorisées
- les sources incidentes sont reproduites modifiées par interférence, ce qui tendra éventuellement à les atténuer.

On peut ainsi envisager la construction d'un système de capteur microphonique à forte directivité.

Système théorique de réseau comportant n microphones

A partir d'un modèle théorique d'un réseau comportant n microphones, distants chacun de $2d$, Jouhaneau (11) montre que la fonction de directivité d'un tel microphone a pour expression :

$$h(\theta) = \frac{1 \sin(nkd \cdot \sin(\theta))}{n \sin(kd \cdot \sin(\theta))} \quad \text{avec} \quad k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{c} \cdot f$$

La directivité de ce microphone dépendrait donc, outre bien sûr l'angle d'incidence de la source, de trois paramètres. Deux sont constants et maîtrisables, n et d , dépendant de la conception du système. Ces deux éléments seront donc étudiés par les concepteurs pour assurer au mieux les qualités recherchées, c'est-à-dire trouver le meilleur compromis possible.

Le troisième facteur, en revanche est la fréquence de l'onde incidente. La directivité de ce type de microphone est donc variable avec la fréquence, éventuellement dans de grandes proportions. On constate que la directivité est en effet croissante avec la fréquence ; mais l'auteur montre aussi que dès que la fréquence dépasse le seuil

$$f > \frac{c}{2 \cdot nd \cdot \sin(\theta)}$$

On constate l'apparition de lobes secondaires dans la courbe de directivité, c'est-à-dire que pour une fréquence donnée, la directivité variera fortement pour des modifications d'angle d'incidence très faibles.

Application : le microphone à tube d'interférence

De nombreuses recherches autour du concept de réseau d'interférence ont été menées, dans des objectifs et des applications très diverses.

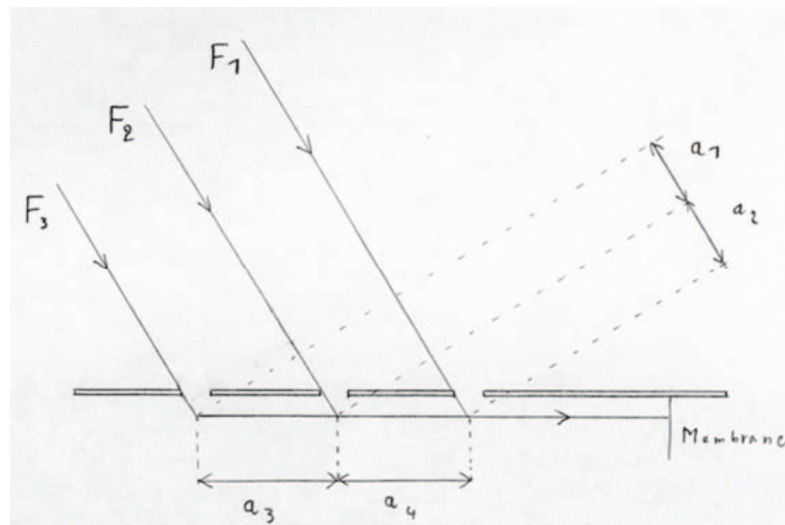
En ce qui nous concerne, à savoir la recherche d'un système pouvant permettre d'obtenir une directivité prononcée avec le timbre le plus fidèle possible, elles ont abouti à un outil bien connu des preneurs de son de terrain : le microphone à tube d'interférence, plus généralement désigné sous le terme de « micro canon », ou « *shotgun* », en raison de sa forme de canon de fusil ; analogie visuelle aggravée par son utilisation avec une suspension à poignée.

Ce type de microphone aurait été inventé par le professeur Kurtze, de l'université de Karlsruhe, à l'époque assisté par un jeune ingénieur, Jörg Wuttke...

Il s'agit en fait d'un microphone cardioïde classique, qui a été prolongé dans l'axe de sa membrane d'un long tube disposant de deux types d'ouvertures : une grille plate classique à l'extrémité du tube, et des fentes parallèles à la membrane le long du tube.

Son principe de fonctionnement est le suivant : les ondes sonores axiales entrent dans le tube par l'ouverture principale, et attaquent directement la membrane.

Les ondes sonores arrivant avec un angle d'incidence par rapport à l'axe du tube, vont s'y propager par différentes ouvertures latérales, et n'emprunteront donc pas toutes le même chemin pour parvenir jusqu'à la membrane :



Sur le plan A, les trois faisceaux d'ondes F1, F2 et F3 arrivent en phase. Mais pour parvenir jusqu'au plan B, parallèle au plan de la membrane, elles suivent un trajet différent :

L'onde F1 va parcourir la distance $a1+a2$

L'onde F2 parcourt la distance $a1+a4$, et arriver avec un retard de $\frac{(a4 - a2)}{c}$

L'onde F3 parcourt la distance $a3+a4$, et arriver avec un retard de $\frac{(a3 + a4 - a1 - a2)}{c}$

Ces déphasages des ondes F2 et F3 sur F1 produisent des interférences qui annulent une partie du signal. En augmentant le nombre de fente et la longueur du tube, on peut essayer d'annuler

la majeure partie des signaux provenant de sources latérales, et obtenir ainsi un microphone très directif.

Toutefois, si les ondes sonores axiales sont reproduites fidèlement, ce type de microphone est confronté à plusieurs limites :

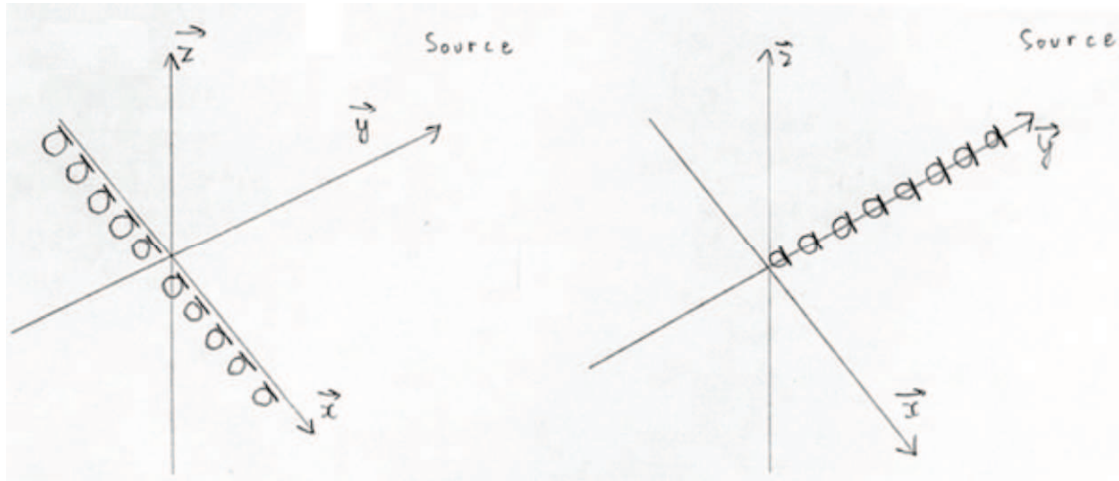
- le risque de phénomène d'ondes stationnaires ; ce phénomène est aujourd'hui bien connu et maîtrisé par les constructeurs sérieux, qui utilisent, en particulier des « impédances acoustiques », simples morceaux de feutre ou de tissus d'atténuation linéaire en fréquence, qui jouent un rôle d'amortisseur.
- la puissance sonore disponible à la membrane est plus faible que sur des microphones classiques ; en effet, les sons dans l'axe ne sont nullement amplifiés par ce système, ce sont les sons latéraux qui sont atténués. Le risque est grand d'obtenir un rapport signal/bruit plus délicat à gérer, à plus forte raison si on l'utilise pour enregistrer des sources de faible puissance, par exemple un chant d'oiseau à une certaine distance... Cela implique bien sûr une fabrication et une électronique plus soignée pour obtenir un résultat équivalent, mais aussi l'usage de pré-amplis très performant !
- sa directivité est fortement liée à la fréquence de la source, en l'occurrence, la directivité est très forte dans le haut du spectre, mais diminue avec la fréquence. A l'usage, on aura ainsi l'impression d'une forte directivité, un décalage de la source par rapport à l'axe entraînant une forte baisse de présence ; mais cette directivité reste très relative dans les basses fréquences, auxquelles le microphone se comporte plutôt comme une directivité hypocarديوide.
- les ondes latérales sont atténuées, mais cette atténuation est fonction de la fréquence et de l'angle d'incidence, avec en particulier des écarts importants de réponse pour des différences d'angles d'incidence minime. Des légères modifications de l'axe du microphone, ou de la position des sources latérales, peut ainsi causer des brusques changements de coloration dans le rendu sonore tout à fait perceptible.

Ces deux derniers points en font un outil à l'utilisation assez délicate, qui nécessite une bonne expérience pour parvenir à un résultat intéressant : il est nécessaire de bien « cibler » sa source principale, et surtout de la conserver dans l'axe, sans quoi on risque de subir d'importants détimbrages.

La recherche autour des réseaux de microphones

Des recherches sont menées puis longtemps pour tenter de construire des systèmes de réseaux de microphones alignés, affranchis des phénomènes d'ondes stationnaires, et dont l'utilisation est réglable individuellement ; un tel réseau serait alors pris en main par un système de traitement du signal.

Il existe deux grands groupes de systèmes de réseaux de microphones, ceux dont l'alignement est parallèle au plan de la source visée, et ceux dont l'alignement est perpendiculaire à cette dernière :



L'ensemble des signaux fait alors l'objet d'un traitement du signal. Pour le premier groupe il s'agit d'une pondération de niveau de chacun des signaux, puis d'une sommation ; pour le second groupe, une pondération de retard supplémentaire est prise en compte, ce qui amène donc à des systèmes plus complexes, mais offre un plus large champ d'investigations sur des paramètres plus larges. Par ailleurs, il convient de remarquer que le premier groupe ne permet de jouer uniquement sur la directivité en dimension plane, alors que le second offre des possibilités en trois dimensions.

A chaque capteur est ainsi attribué un niveau voire un *delay*, ce qui revient à doser le niveau de chaque interférence ; un dosage adéquat permet de limiter les lobes secondaires, et fournit ainsi une courbe de directivité plus homogène en fonction de la fréquence. Bien sûr, un tel système reste plus directif dans les hautes fréquences que dans les basses, mais le phénomène de coloration variable avec l'angle d'incidence est ainsi fortement atténué, et la directivité générale est plus précise.

De nombreuses applications ont été envisagées, et font l'objet de recherches, dans différents domaines. Par exemple, un groupe de dix chercheurs (12) ont ainsi présenté, en 1984, un système construit avec 40 capteurs électrets cardioïdes disposés sur un arc de cercle et combinés par un traitement du signal utilisant les fenêtres de Hanning. Cette équipe a ainsi pu aller plus loin, en contrôlant l'axe de directivité de leur système, en variant les paramètres de pondération, qui peut même alors être contrôlé automatiquement. Les auteurs en ont proposé un exemple d'application ; lié à une caméra, la directivité du système peut ainsi suivre le déplacement du ballon lors de la retransmission d'un match ! Les recherches sont cependant

surtout orientés vers d'autres axes, en particulier, les systèmes d'aide auditive pour les malentendants d'une part, et d'évidentes applications militaires, en particulier sous-marine.

A l'heure actuelle, aucune application susceptible d'être utilisable pour la prise de son animalière n'a été développée commercialement, et un tel système semble totalement incompatible avec une utilisation de terrain telle que la vit un preneur de son animalier. Mais le développement des outils DSP et de la recherche dans ce domaine permettra sans doute un jour l'émergence d'une nouvelle solution... Voire existe peut-être déjà : le « *Surround Recording Platform* » de Trinov associe ainsi un réseau de huit microphones et un traitement DSP qui permet d'obtenir un large choix de directivité de système de 1 à 5 canaux.

Pourquoi ne pas envisager par exemple d'associer le fameux « fer à cheval » à un magnétophone DEVA équipé de huit préamplis et huit pistes, soit un système somme toute facile à mettre en œuvre sur le terrain, puis d'en dégager en post-production grâce au processeur SRP un mixage multicanal dont le canal central serait réglé extrêmement directif, pour mettre en valeur une source « vedette » dans une ambiance multicanale ? Un tel dispositif n'a pu être testé dans le contexte de ce mémoire, mais pourra peut-être l'être avec profit par d'autres dans l'avenir.

Les hydrophones

Les hydrophones sont en fait de simples capteurs de pression, basés sur des cristaux piézo-électriques. Afin de rendre possible leur utilisation sous l'eau, ils sont encapsulés dans un dispositif en matière plastique, qui l'isole entièrement de l'eau, mais laisse passer linéairement les ondes sonores par conduction solide.

L'encapsulation implique l'impossibilité de construire des systèmes ayant des directivités autres qu'omnidirectionnelles. Dans certaines applications, on a recours à des antennes qui permettent de donner une directivité à des systèmes ; ce n'est pas le cas des transducteurs disponibles sur le marché de l'audio.

Ces dispositifs sont bien sûr accompagnés d'un câblage intégré, surmoulé au microphone de manière entièrement étanche jusqu'au connecteur de sortie classique sur XLR, qui, lui, doit évidemment être en dehors de l'eau.

Essentiellement deux marques commercialisent de tels capteurs : DolphinEar et DPA.

En dehors des basses fréquences, toujours problématiques avec les capteurs de pression, on arrive à obtenir des courbes de réponses extrêmement plates : 100 Hz à 20 kHz +/- 3 dB pour le DPA 8011.

La sensibilité est naturellement faible, entre autres en raison de l'encapsulation ; de l'ordre de 0,7 mV / Pa pour le 8001. En revanche, ces microphones sont capables d'encaisser de très forts niveaux (162 dB SPL pour le 8011), ce qui est parfois utile les pressions en jeu sous l'eau pouvant être beaucoup plus importantes que dans l'atmosphère.

La prise de son sous-marine (13)

Toutes les connaissances et les outils concernant le son sous-marin, comme dans d'autres domaines, ont été développées initialement avec des préoccupations d'ordre militaire. Depuis longtemps, l'idée d'écouter sous l'eau pour détecter des navires a vu le jour, puisqu'on en trouve même trace dans des écrits de Léonard de Vinci ; mais ce n'est qu'au début du XX^{ème} siècle, et surtout avec la seconde guerre mondiale, qu'on a commencé à mieux connaître l'acoustique sous marine.

De multiples applications voient peu à peu le jour :

- dans le secteur militaire, pour la détection des mines et sous-marins ;
- dans le secteur de la navigation, pour la détection d'obstacles et la mesure de la hauteur d'eau ;
- les sonars de pêche, permettant de détecter et suivre les bancs de poissons ;
- les outils scientifiques, tels que sondeurs de cartographie, ou sondeurs profileurs de sédiments.

L'acoustique sous-marine est aussi susceptible de concerner la prise de son animalière : car les fonds marins sont riches en sons, sons d'ambiance (roulis du fond marin, bruit d'agitation de surface, de pluie, etc.), sons de déplacements d'animaux, et surtout sons émis par ces animaux : Les cétacés, en particulier, émettent beaucoup de sons, tant pour communiquer entre eux que pour se déplacer ou détecter des proies. Par ailleurs, comme sur la terre ferme, l'environnement sonore sous-marin est de plus en plus pollué par diverses sources : navires, centrales de forage, etc.

On ne compte plus le nombre de disques consacrés au chant des baleines, et le documentaire animalier sous-marin peut lui aussi nécessiter l'immersion de microphones. Par ailleurs une nouvelle vague de loisirs mène au développement de systèmes de sonorisations pour des musées, des parcs à thèmes, voire des centres de visite sous-marine, qui souhaitent diffuser à leurs visiteurs l'ambiance sonore sous-marine de l'espace qu'ils ont sous leurs yeux.

Enfin on notera une fois de plus que les problématiques de la prise de son animalière rejoignent celles des retransmissions sportives, les hydrophones étant utilisés lors de triathlons ou de steeple-chase. Nous n'évoquerons pas non plus en détail l'utilisation de ces outils dans les piscines de certains programmes de "télé-réalité", même si on peut parfois se demander, comme d'ailleurs pour certains sports, si cela ne reste pas du domaine de la prise de son animalière.

Caractéristiques de l'acoustique sous-marine

Même si les principes de base sont les mêmes, l'acoustique dans l'eau présente des différences notables avec l'acoustique en aérobie. La principale de celles-ci vient de la vitesse de déplacement des ondes sonores. On connaît habituellement la valeur de la vitesse de déplacement dans l'air, environ 340 mètres par seconde. En fait, la célérité de propagation des ondes acoustiques est calculable ainsi :

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

Avec E module d'élasticité du milieu

ρ masse volumique du milieu

Or, des deux éléments varient considérablement : par exemple, si la masse volumique de l'air est de l'ordre de 1,3 Kg / m³, celle de l'eau de mer avoisine, elle, les 1030 kg / m³.

A titre indicatif, la vitesse des ondes sonores est ainsi comprise généralement entre 1450 m / s dans de l'eau, et 1550 m / s dans l'eau salée. Mais dans les faits, et c'est là une autre caractéristique, cette vitesse varie avec la salinité (dans les océans, de 20g/L dans les hautes latitudes à 30g/L à l'équateur), mais aussi, puisqu'elle est fonction de la masse volumique, avec la pression et la température. On sera donc plus souvent que dans l'air confronté à une propagation inhomogène. Toutefois, si c'est un problème crucial pour les outils de détection, cela concerne peu les applications qui nous intéressent ici.

De même, la consistance du milieu influera considérablement sur les pertes par amortissements.

Pour le reste, la propagation des ondes suit les mêmes principes que dans l'air, et on retrouve les mêmes problématiques, y compris par exemple l'existence d'une réverbération sous-marine (par des réflexions sur les fonds comme sur la surface).

Partie théorique

Sous-Partie III :

La prise de son animalière stéréophonique

Pourquoi la stéréo ?

Les couples classiques

Systemes de parabole stéréo

Systemes stéréo utilisant un microphone à interférence

La stéréophonie sous-marine

Pourquoi la stéréo ?

On a vu de quels outils le preneur de son animalier pouvait disposer pour son travail, et étudié quelques applications possibles de ceux-ci en monophonie. Mais qu'il soit ingénieur du son ou ornithologue, celui-ci a souvent le désir –et le besoin- de réaliser ses enregistrements en stéréophonie.

Ainsi, si l'on souhaite enregistrer une ambiance, un paysage sonore, le choix de la stéréo s'impose ; il s'agit bien sûr de profiter d'une ample spatialisation, qui donne de la largeur, mais aussi de la profondeur à l'enregistrement. Mais enregistrer en stéréo veut dire aussi apporter un gain appréciable en termes de perception des timbres. Le simple couple stéréo s'impose alors.

Mais la prise de son animalière va souvent consister, au-delà de l'enregistrement d'ambiance, à enregistrer des solistes, souvent à grande distance de ceux-ci. Or aujourd'hui, les prises de son à distance cherchent souvent à correspondre à un certain esthétisme : que ce soit pour les disques grand public ou pour les documentaires animaliers, on cherche à disposer d'une image stéréo qui au minimum donne un contexte au sujet principal, mais parfois aussi joue directement la carte d'une image large et "impressionnante", visant à marquer l'auditeur.

De même qu'on préfère entendre un violon enregistré dans une salle de concert plutôt que dans une chambre sourde, les systèmes de prise de son à distance qui ne font que retranscrire un son direct du chant de l'oiseau nous paraissent bien pauvres ; il ne s'agit pas seulement d'une question d'agrément, d'esthétisme, mais aussi de la qualité de restitution du timbre de l'oiseau, de sa manière d'exciter l'environnement.

Par ailleurs, si les systèmes directifs aident le soliste à bien ressortir dans son environnement sonore, on ne cherche que rarement à l'isoler totalement. Il s'agit de considérations esthétiques, bien sûr : il est plus agréable d'entendre un grillon soliste entouré d'une ambiance, de préférence bucolique. Mais il s'agit aussi, dans le cas de documentaires par exemple, de transmettre à l'auditeur des informations précieuses sur l'environnement d'un sujet principal. Enfin, Messiaen, qui compare les oiseaux à des improvisateurs, avait aussi bien compris que les chants de ceux-ci interagissent ; n'en entendre qu'un seul ne permet guère d'appréhender la partition. On cherche donc, au-delà du soliste, à restituer un environnement sonore, un contexte, des sources secondaires. L'enregistrement stéréo, parce qu'il permet de répartir ces sources dans une image spatiale plutôt que de les confondre dans la monophonie, est évidemment nécessaire.

Dès lors, trois types de dispositifs peuvent s'imaginer :

- mélanger une prise de son monophonique d'un soliste à une ambiance totalement décorrélée, enregistrée à part, soit séparément mais dans le même environnement (lieu et heure), soit éventuellement dans un autre lieu, soit même tirée d'une sonothèque.
- mélanger une prise de son monophonique à une ambiance prise sur le vif en même temps avec un dispositif stéréo grâce à un magnétophone multipiste, ou avec mixage en direct.
- Utiliser des systèmes visant à donner une largeur stéréo à un système très directif conçu à la base en mono.

Le premier peut apparaître comme une solution simple, au sens où elle en effet plus facile à mettre en œuvre. Adaptée à la fiction, domaine dans laquelle elle est couramment utilisée, elle court pourtant le risque de paraître fautive dans un contexte où l'attention est particulièrement attirée vers le contenu sonore même de cette ambiance dont le sujet peut faire partie ; qui plus est dans le cas, alors fréquent, où l'enregistrement vise un public averti. Le soin apporté au choix de l'ambiance, idéalement un enregistrement réalisé dans des conditions similaires à celui du soliste, permet au moins d'être cohérent en termes de contenu et d'obtenir un résultat satisfaisant.

Le second correspond en fait à une logique de couple principal avec appoint. Il nous semble plus intéressant en termes de rendu sonore, pouvant mêler précision du sujet et réalisme de l'image stéréo, avec une unicité de l'acoustique du lieu et du paysage sonore, mais aussi une unité temporelle facilitant la fusion des deux éléments ; il présente l'inconvénient d'être beaucoup plus complexe à mettre en œuvre, puisqu'il s'agit alors de réaliser simultanément deux prises de son distinctes.

La troisième semble étrange de première approche, parce qu'en contradiction avec le principe d'un système directif. Ceux-ci ont en effet un point commun dans leur conception, comme on l'a vu : chercher à isoler une source ponctuelle de toutes les autres sources de l'environnement. Ainsi, le micro 'canon' détruira par interférence toutes les ondes sonores situés hors de l'axe, la parabole, elle, amplifiera acoustiquement les sons situés dans l'axe. Mais dans les deux cas, la conception théorique de ces micros prévoit comme objectif la restitution privilégiée d'une source ponctuelle. Ces systèmes de prise de son à distance semblent donc dédiés, de naissance, à une prise de son monophonique ; dès lors, le concept de recherche d'une image stéréo apparaît en apparence comme un non-sens avec de tels systèmes qui n'ont pas été conçus pour.

Cependant, force est de constater qu'il existe sur le marché des produits allant dans ce sens : du micro 'canon' stéréo d'Audiotechnica (basé sur la technique MS) aux paraboles avec tête stéréo fabriquées par Telinga.

Il nous a semblé intéressant de mener une étude des systèmes de prise de son rentrant dans le cadre des deuxièmes et troisièmes dispositifs. Le premier, plus difficilement comparable aux deux autres vu le caractère décorrélé de la prise de son d'ambiance, ne sera plus évoqué ici. On a en effet abordé les outils de prise de son monophoniques, et on va le faire concernant les couples stéréos ; le reste de la problématique liée à cette méthode de travail concerne désormais, plutôt que le domaine de la prise de son, celui de la post-production.

Les couples classiques

Souvent, les couples stéréo classiques restent la meilleure manière d'obtenir un excellent résultat. On ne reviendra pas en détail sur les caractéristiques de ces couples, sur lesquelles une très large littérature existe (14). Dans les applications de prise de son animalière, ils offrent un éventail de possibilité qui permet de s'adapter à de nombreuses situations. En voici quelques exemples, qui ne se veulent en aucun cas des recettes infaillibles, mais des illustrations de la diversité des projets de prise de son que l'on peut mener dans ce domaine.

- Le couple XY est constitué de deux microphones cardioïdes coïncidents, avec un angle plus ou moins resserré suivant l'angle de prise de son souhaité.
Ce couple est basé sur la différence d'intensité : en effet, suivant l'angle d'incidence de la source, l'un des deux microphones reçoit une intensité plus forte que l'autre.
Si l'angle physique entre les microphones est grand, on a donc un angle de prise de son petit, la différence d'intensité critique étant plus rapidement atteinte.
En proximité, avec un angle faible, le couple XY est le bienvenu pour donner de l'air à un sujet isolé, tout en minimisant les petits déplacements de celui-ci dans l'espace.
- Pour des plans larges, on peut utiliser les couples AB omnidirectionnel ; il s'agit de deux microphones omnidirectionnels espacés, généralement sans angle.
Ce système est basé sur la différence de temps : un signal situé par exemple sur la gauche du couple met plus de temps à atteindre le micro de droite que le micro de gauche, en raison de leur espacement. Un grand écartement réduit donc l'angle de prise de son.
Si on cherche à avoir une image stéréo ample et naturelle avec un centre stable, on utilise un 'petit' écartement ; cela est souhaitable par exemple pour enregistrer un concert d'oiseaux ou de grillons.
Une distance plus grande est intéressante pour mettre l'accent sur des déplacements de sources ; par exemple, dans un plan large dans lequel on s'intéresse à un oiseau qui se déplace, le grand AB permet de suivre ces déplacements, même à une certaine distance ; une application utile en cinéma animalier.
- Quant au couple MS, il offre des avantages particuliers : une excellente compatibilité mono, la possibilité de varier l'angle de prise de son à la prise ou en post-production, et aussi une facilité de mise en œuvre sur le terrain. En effet, ce couple peut facilement être logé dans une bonnette et utilisé avec une perche.
Il est composé de deux capsules coïncidentes orientées dans le même axe : une bidirectionnelle, et, en principe, une cardioïde. La capsule cardioïde reçoit en monophonie les ondes de toutes les sources axiales et latérales, jusqu'à un certain angle dépendant de la directivité. La capsule bidirectionnelle, pour sa part, reçoit les signaux issus des sources latérales à gauche sur la face positive, et ceux issus de celles de droite sur la face négative. Le signal résultant correspond donc à la différence entre les signaux de gauche et de droite ; le son axial en est absent.

On procède alors à un matriçage suivant le principe suivant :

$$A = M + S \text{ (canal de gauche)}$$

On pourrait en décrire sommairement le fonctionnement ainsi : le signal S s'ajoute au signal M. Ce signal M étant formé des ondes des sources axiales et des ondes des sources latérales, la sommation avec S a pour effet de maintenir les ondes des sources axiales, de détruire par opposition de phase les ondes des sources latérales de droite, et de renforcer les ondes des sources latérales de gauche.

On obtient de même : $B = M - S$ (canal de droite)

Le niveau du S peut être ajusté pour obtenir l'angle de prise de son désiré. Toutefois, on note que si le niveau de S devient prépondérant, on obtient à droite et à gauche un même signal en opposition de phase.

Systemes de parabole stéréo

Nous voilà donc face à la question évoquée plus haut : construire un système stéréophonique à partir d'un système directionnel. On peut réfléchir dans deux directions. La première serait d'utiliser plusieurs capsules avec un système de réflecteur acoustique. L'idée qui vient immédiatement à l'esprit est d'utiliser soit deux réflecteurs, soit un réflecteur à double foyer. Mais il vient tout aussitôt à l'esprit qu'un tel système serait tout à fait vain. Soit on arriverait, ce qui serait remarquable, à diriger les deux réflecteurs vers la même source ; mais cela reviendrait juste à avoir, vu les distances en jeu, la même chose à droite et à gauche. Soit, hypothèse plus probable, les deux réflecteurs pointerait sur deux sources différentes, et on obtiendrait alors, plutôt qu'une image stéréo, un son bi-canal composé de deux sons n'ayant pas de rapport entre eux. Certains pensent ce type d'approche intéressant (15) :

« La meilleure solution que j'ai trouvée, c'est d'enregistrer les oiseaux un par un en mono, puis, en studio, de recréer une spatialisation au mixage. Cette stéréo artificielle a ici sa pleine justification, et elle sera parfois très différente d'une stéréo musicale. En effet, dans la nature, le cas se produit fréquemment d'avoir un oiseau complètement à droite, et l'autre complètement à gauche. Une reproduction fidèle voudra donc que nous ayons un signal dans un canal à 100 %, et un autre dans l'autre canal à 100 %, ce qui serait absurde pour de la musique. Les problèmes acoustiques sont bien différents entre la reproduction d'une ambiance extérieure naturelle, et celle d'un concert en salle. »

Nous ne la commenterons pas ici.

L'autre solution est d'utiliser, à partir d'un seul réflecteur, deux ou plusieurs microphones. On distingue deux cas : les systèmes avec plusieurs microphones « embarqués » dans le réflecteur et les systèmes avec un microphone classiquement disposé au foyer du réflecteur, mélangé avec un ou plusieurs autres microphones en dehors du champs du réflecteur.

Les systèmes avec plusieurs microphones embarqués

Ici, il n'y a pas un grand choix de possibilités. On cherche à reprendre le son arrivant au foyer du réflecteur avec un système stéréo ; par définition, il faut donc utiliser un système coïncident, en essayant de ramener du son direct d'ambiance. Deux possibilités existent, parmi les dispositifs classiques :

- Le système XY

Il est vrai que ce système semble difficilement fonctionnel appliqué à la parabole. Non pas en tant que système basé sur une différence d'intensité qui a largement fait ses preuves, même si certains pensent qu'un bon enregistrement doit être réalisé avec un système qui permet de « faire de la prise de son en vraie stéréo de phase » (16) ; mais parce que les deux capsules cardioïdes seraient toutes les

deux dirigées vers l'intérieur de la parabole, ce qui ne favoriserait pas la restitution d'une image stéréo cohérente. En effet, les deux capsules placées au foyer recevraient alors la même intensité de son dans l'axe, ce qui amplifierait encore le sujet principal et le placerait au centre de manière très prépondérante ; par ailleurs, les membranes orientées vers l'intérieur de la parabole ne recevraient quasiment aucun son latéral d'ambiance. Un tel système semble donc être assez proche du monophonique.

- le système MS

Ici, le système semble plus intéressant ; on associerait classiquement une capsule cardioïde classique, comme sur les systèmes à réflecteurs monophoniques, mais ce signal serait mélangé avec celui d'un microphone bidirectionnel, dont on peut penser qu'il ramène, grâce à sa directivité orientée vers l'extérieur, un maximum de son ambiant qui permet de placer le sujet au centre une ambiance stéréo cohérente. Strandberg, concepteur des paraboles Telinga, dit s'y être intéressé (17):

« We have made some interesting experiments with M/S configurations, but weight, hand- and wind noise, not to speak about price - make such a design unrealistic. ».

Cela semble donc intéressant, même si il est vrai que les capsules "S" (bidirectionnelle) ne sont en effet produites que par peu de constructeurs, et destinées à une utilisation "haut de gamme" qui engendre un certain prix. Surtout, ce système, pour être accessible à des utilisateurs généralement peu au fait des techniques de prise de son, se devait d'intégrer un décodeur MS vers stéréo, ce qui engendrait un autre surcoût, mais aussi un surplus de poids, la nécessité d'une alimentation, etc. C'est donc une troisième piste qui a été choisie par Strandberg, comme on va le voir plus loin.

Pourtant, lorsque l'on s'intéresse de près à ce système, on peut s'interroger sur d'autres raisons plus sérieuses de ne pas le retenir. Que se passe-t-il vraiment lorsqu'un tel système est mis en place ?

Comme on l'a vu, Le microphone M placé au foyer de la parabole reçoit essentiellement, et ce, qu'il soit cardioïde ou omnidirectionnel, le son réfléchi ; son signal est principalement composé des sons dont les sources sont situées dans l'axe de celui-ci, au détriment de toutes les sources latérales qu'on cherche, avec succès pour ce système, à éviter.

Le microphone bidirectionnel, par définition du système MS, est placé de manière coïncidente avec la capsule cardioïde, ce qui veut dire qu'il est également au foyer. Sa directivité est orientée vers l'extérieur certes, mais dans le cas usuel où le foyer est dans le plan de l'ouverture de la parabole, la capsule sera pleinement dans le champ des réflexions. En fait, ces réflexions sont en phases entre elles ; les mêmes ondes arrivent donc symétriquement de part et d'autre de la capsule et s'annulent mutuellement au profit unique du son extérieur. Donc, la capsule S capterait – théoriquement- à peu près le même signal en présence du réflecteur ou en son absence ? Pas tout à fait, parce que le réflecteur fait écran à une partie des ondes sonores, celles venant de l'arrière. Mais le signal d'ambiance latéral et facial devrait être restitué à l'identique.

Tout cela semble fonctionner, donc, jusqu'au moment du matriçage. Et là, on se trouve confronté à deux problèmes : le microphone M a reçu un signal fortement amplifié acoustiquement par le réflecteur, mais ce n'est pas le cas du S, qui a même

subi une légère perte de niveau dû à l'écran que forme le réflecteur ; il y a donc une forte disparité de niveau entre ces deux microphones. Soit on laisse le réglage tel quel, et on obtiendra un signal M élevé, sur lequel le S n'aura qu'une influence très mineure ; soit on relève le niveau du S électroniquement, ce qui est susceptible de ramener du souffle. En fait mieux vaut que l'influence du S soit mineure, vu sa nature réelle, et c'est là le second problème.

On a vu que le signal S est en fait la différence gauche/droite des ondes sonores latérales, et le M qui est uniquement constitué des sons axiaux. Or le principe du MS est de laisser au centre le signal axial du M, ce qui est le cas, et de recréer l'image stéréo en ajoutant la différence gauche/droite à ce signal M, en supposant que ce M contienne la somme gauche + droite. Or, si c'est le cas avec un M cardioïde en champ libre, comme on l'utilise habituellement, ça ne l'est pas le cas avec un M très directif, qui ne capte pas les sons latéraux. Dès lors, ajouter les signaux +S et -S ne va pas provoquer des interférences qui établiront l'image stéréo, parce que ces signaux ne vont s'additionner à rien. On aura donc :

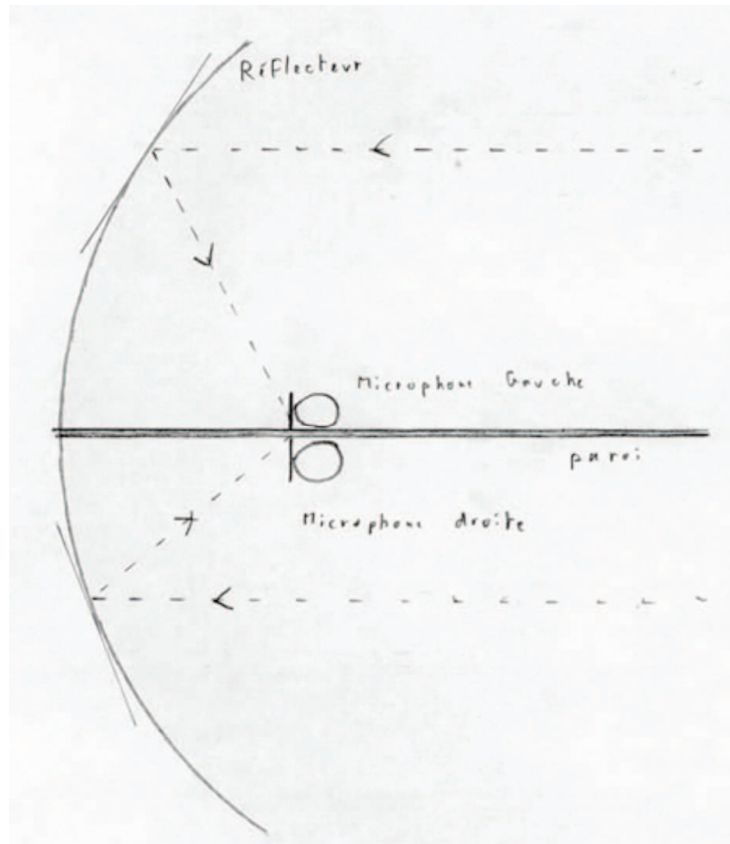
- à gauche le son axial, plus la différence gauche/droite
- à droite, également le son axial, plus la différence gauche/droite en opposition de phase

Le sujet ne sera pas centré sur une belle ambiance stéréo, mais sur un signal sans aucun sens, partiellement en opposition de phase entre les deux canaux. Le système ne fonctionne donc pas, un MS avec un M trop directif est un contresens ; on tentera de le vérifier à l'occasion de la partie expérimentale.

- Le système adopté par Telinga

Il s'agit en fait d'une application du principe de la tête artificielle ; c'est-à-dire deux capteurs omnidirectionnels, placés de part et d'autre d'une paroi, et en principe espacés de la largeur de la tête d'un homme. Là encore, ce type de système de prise de son est impossible à mettre en œuvre avec une parabole, compte tenu du caractère ponctuel du foyer. L'idée, exposée mais non développée par Walhström (8) en 1985, fût donc de garder le principe de cette tête artificielle, mais sans écartement des micros. Une paroi scinde en deux le plan formé de l'axe vertical et de l'axe du réflecteur. La zone focale est ainsi coupée en deux, et l'on dispose de part et d'autre de cette paroi de séparation un microphone.

Strandberg (9) a proposé l'utilisation de deux capsules PZM, selon le schéma ci-dessous :



Dans cette configuration, le son focalisé est également présent dans les deux canaux, ce qui évite les problèmes de trou au centre souvent inhérent aux têtes artificielles, et qui donne une stabilité de l'image de la source principale : le sujet principal est au centre, et l'amplification acoustique du réflecteur lui donne une forte prépondérance... Le son d'ambiance quant à lui est capté en stéréo par les deux micros, qui se comportent alors comme deux semi-omnidirectionnelle.

L'auteur souligne par ailleurs le gain d'amplification acoustique de 6dB offert par le système PZM. Cependant cet intérêt serait à comparer aussi en termes de sensibilité par rapport à d'autres types de microphones, avant d'en déduire que son utilisation est avantageuse en terme de gain.

Les systèmes mixtes avec une capsule classiquement disposée au foyer du réflecteur, mélangée avec une ou plusieurs autres capsules en dehors du champs du réflecteur.

- on peut faire l'hypothèse d'un MS détaché, avec le S en dehors de la parabole. On a vu que le S au foyer ne restituait en fait que les sons latéraux, et non les sons issus du réflecteur ; donc un S à l'extérieur du réflecteur devrait théoriquement, pour peu qu'il soit aligné en termes de différence de temps, fournir sensiblement le même résultat. Il sera intéressant de regarder si c'est bien le cas à l'occasion de la partie expérimentale.

- L'autre idée serait d'utiliser un couple stéréo en champ libre, auquel on ajoute le signal du système parabolique. Dans ce cas, on est donc dans une logique d'appoint ; le couple stéréo est utilisé comme source principale, et on dispose d'un appoint sur le sujet qu'on peut utiliser à notre guise pour relever son niveau, à priori au centre mais même éventuellement panoramique. On se retrouve alors dans une problématique non plus de prise de son, mais de mixage. La difficulté est bien sûr de réussir la fusion entre le couple et l'appoint, les écueils potentiels étant une importante différence de timbre, et une image spatiale difficile à reconstruire.

Systemes stéréo utilisant un microphone à interférence

Sur le même principe que pour les systèmes ayant recours au réflecteur parabolique, on peut concevoir des systèmes stéréo utilisant des microphones à interférences.

1/ Le microphone « canon MS »

Il s'agit en fait d'un système MS pour lequel le micro M est un microphone à interférence.

Avec un microphone à interférence court, à la directivité hypercardioïde, le système fonctionne pour un grand angle de prise de son, donc avec un S à faible niveau. Si le microphone M, en revanche, est plus directif, on se retrouve avec le problème déjà évoqué pour la parabole : les capsules M et S captent deux signaux indépendants, et le matriçage ne se passe plus correctement. Ce phénomène ayant déjà été expliqué plus haut, on n'y reviendra pas ici.

Au moins deux marques commercialisent un tel microphone intégré, Audiotechnica et Sennheiser. Il peut aussi facilement être fabriqué en associant un micro canon classique avec un micro bidirectionnel ; presque tous les grands fabricants disposent aujourd'hui ces deux types de microphones dans leur catalogue.

2/ Le microphone canon utilisé comme appoint

Comme avec la parabole, on peut tout à fait envisager un système avec un couple stéréo principal, et un microphone à interférence utilisé comme appoint pour faire ressortir le sujet principal. Le mixage sera moins problématique : d'une part la restitution du timbre sera plus fidèle avec le micro canon, ce qui facilitera sa fusion avec le couple, et d'autre part le micro canon étant moins directif que la parabole, le problème d'un sujet donnant l'impression d'être trop proche se pose moins..

En revanche, le niveau du sujet ramené par ce type de microphone est moins fort qu'avec les systèmes à réflecteurs, il s'agit donc vraiment d'un appoint léger.

La stéréophonie sous-marine

Théoriquement, il n'y a aucune raison de ne pas pouvoir faire de prise de son stéréophonique sous l'eau : la notion d'image stéréo est tout à fait valide, les sources restantes réparties dans l'espace.

Ne disposant que d'outils omnidirectionnels, on peut envisager parfaitement la construction d'un couple stéréo basé sur une paire d'hydrophone disposé en couple AB. Toutefois un tel système est basé sur la notion de différence de temps entre les ondes arrivant sur chacune des capsules, comme on l'a vu quand il a été question de ce couple. Mais évidemment, pour obtenir un angle de prise de son équivalent à nos références terrestres, il faut prendre en compte la différence de vitesse de déplacement : à une vitesse quatre fois plus rapide, il faudra utiliser des distances quatre fois plus grandes. Ce point a fait l'objet d'une expérience simple décrite ci-dessous.

Essai de stéréophonie en milieu aquatique

Le tournage du film faisant l'objet de la partie III du présent mémoire aura été l'occasion de réaliser des prises de sons sous-marine dans différents milieux : bassins du centre Nausicaa (Boulogne sur Mer, 62), une plage de la Manche, ainsi que dans une baignoire.

La structure du grand bassin de Nausicaa nous a permis de réaliser une expérimentation simple. Ce bassin est de grandes dimensions : de l'ordre de quatre mètres de profondeur, six de large, et autant de long. Il est accessible par le dessus, ce qui permettait d'y plonger des hydrophones ; d'autre part, une large vitre, d'une longueur de plusieurs mètres, permettait de déplacer une source sonore dans l'espace de ce bassin, tout simplement en frappant sur la vitre.

On a ainsi réalisé deux enregistrements, les microphones étant placés sur un axe parallèle à la vitre à une distance d'environ deux mètres de celle-ci ; le premier a été réalisé avec un écartement des hydrophones de 40 cm environ, le second d'environ 1m50, soit quatre fois plus. Pendant l'enregistrement, on a tapé sur la vitre à intervalle régulier sur toute la longueur de la vitre.

Dans le premier cas, les sons d'impacts sont d'amplitude variable avec la distance aux microphones, mais aucune spatialisation n'est détectable à l'oreille.

Dans le second cas, en revanche, on entend clairement la succession des sons d'impact passer de gauche à droite, en suivant une progression régulière semblable à ce que donnerait un tel test avec un couple AB 37 cm classique ; la théorie semble donc se confirmer par cette expérience, qui reste bien sûr un simple test, et non une mesure scientifique. Reste toutefois à s'interroger sur les applications d'un tel dispositif.

Le sens de la stéréophonie en milieu aquatique

D'une part, ce dispositif est évidemment inopérant pour capter en stéréophonie une scène qui ne soit pas macroscopique ; un déplacement d'un petit animal (par exemple, un crustacé évoluant sur du gravier), de faible intensité sonore, ne sera absolument pas restitué avec de telles distances microphoniques. Si une source est proche d'un des deux microphones, c'est la différence d'intensité qui prendra le relais, et la source ne sera en fait restituée que par un seul des deux microphones ; si la source est loin, on ne l'entendra tout simplement pas.

Deux autres essais de prise de son stéréo ont été réalisés. Le premier, réalisé en mer à quelques mètres de la plage de Boulogne sur mer (62), a mis en évidence un point intéressant. Les deux sons essentiels restitués étaient le roulis du sable et les sons de surfaces, deux sources dont la distance aux microphones, à cette faible profondeur, était petite par rapport à l'écartement des capteurs ; les deux signaux gauche et droite captaient par conséquent des choses sans rapport, ce qui donnait un résultat à l'écoute plus proche de deux sources ponctuelle dans deux enceintes qu'une véritable ambiance stéréo. Le second essai, réalisé dans une baignoire avec simulation par impact d'un déplacement d'animal de faible niveau sonore, a évidemment confirmé l'intuition évoquée au paragraphe précédent : celui n'était restitué qu'assez proche d'un microphone, et donc alors entièrement à gauche ou à droite. La stéréo sous l'eau doit donc être réservée à de larges scènes sonores mettant en jeu de grands espaces et de forts niveaux, ce qui est rarement le cas dans la prise de son animalière.

D'autre part, notre propre sensibilité à la stéréo lorsque nous sommes immergés est assez faible : la vitesse quatre fois supérieure de la propagation des ondes empêche le fonctionnement de notre système de discrimination par différence de temps, et surtout, notre oreille sous l'eau ne fonctionne plus en haute fréquence, ce qui rend toute localisation délicate. Il est possible de recréer une image stéréo sous l'eau, mais elle ne correspondra en rien à la perception qu'on pourra en avoir réellement. L'utilisation d'un système stéréo dans pareil cas se veut donc un choix esthétique, mais en aucun cas un choix de réalisme.

Cette question est de toute façon étendue de manière générale à la prise de son sous-marine : alors que notre oreille verra sa courbe de réponse profondément modifiée, les hydrophones, eux, fourniront une réponse linéaire en fréquence, ce qui apportera, même en monophonie, une distorsion énorme entre notre perception et la retranscription par un système de prise de son. Ainsi, la plongeuse du centre Nausicaa, qui a écouté notre enregistrement, ne reconnaissait évidemment pas l'environnement sonore dans lequel elle évolue chaque jour à l'occasion de l'entretien du grand aquarium, et sa surprise fût donc grande à la découverte de la réalité sonore de ce lieu dans lequel elle avait des repères sonores, mais qu'elle ne retrouvait pas du tout dans cet enregistrement.

Un souci de réalisme par rapport à notre propre perception nous poussera donc à profondément « abîmer » notre enregistrement par un important filtrage passe-bas ; des choix esthétiques pourront aussi nous conduire à garder les sons originaux, auquel cas l'auditeur sera plongé dans un univers sonore totalement inconnu de ses références culturelles, comme l'est l'opérateur qui écoute pour la première fois son résultat ; ce choix ouvre aussi de larges possibilités de création sonore, puisque de toute façon, même le son réel nous paraîtra irréel !

Ainsi, si la stéréophonie sous l'eau est tout à fait réalisable, elle n'en reste pas moins d'un intérêt limité dans nos applications.

Partie théorique

Sous-partie I

- (1) *Entomophonia*, Andrieu et Dumortier, Edition INRA, 1993.
- (2) Jean Roché, entretien avec l'auteur, août 2004.
- (3) Registre National du Commerce, comptes annuels déposés aux greffes.
- (4) Texte d'avril 1959, rédigé à la veille de la création du « catalogue des oiseaux », et cité dans Halbreich, Harry, *Olivier Messiaen*, éditions Fayard, Sacem, Paris, 1980.
- (5) Entretien avec Camille Roy dans *les cahiers de la culture et de l'environnement* n°5, février 1978, page 24
Cité dans Penot, Jacques, *Olivier Messiaen ornithologue*, in Massip, Catherine, *portraits d'Olivier Messiaen*, éditions Bibliothèque Nationale de France, Paris, 1996.

Sous-partie II

- (6) Jean Zonaras, *Epitome ton Istorion*, 9,4
On notera cependant que si ce texte, daté du XII^{ème} siècle, est censé être une copie de *L'histoire romaine* de Dion Cassius (v. 155-235), il n'existe pas d'éléments antérieurs permettant de juger la réalité de ces faits. Polybe, historien grec considéré comme la source la plus fiable sur le siège de Syracuse dont il est contemporain, n'en fait pas mention dans son *Histoire*. Si les propriétés des paraboles sont connues de longue date, la réalité d'une telle utilisation de celles-ci reste donc incertaine.
- (7) Manuel sur les télécommunications par satellite, Union Internationale des Télécommunications, Ed Wiley, 2002, 1210p.
- (8) The Parabolic Reflector as an acoustical Amplifier, Sten Wahlström, J.A.E.S. Vol 33, n°6, juin 1985.
- (9) Parabolic Microphones – reality, mono and stereo surround, K.G. Strandberg, www.telinga.com
- (10) Parabolic Reflector Microphones, Juha Backman, AES Convention Paper 5499, 2002.
- (11) Notions élémentaires d'Acoustique, Jacques Jouhaneau, 1994, 539p.

(12) Practical Applications and Digital Control of the Microphone Array/Abe/Yoshihiko/Miyaji/Naotaka/Makoto/Sakamoto/Atsushi/Boden/Larry, AES Convention Paper 2116, 1984

(13) Acoustique sous-marine, Xavier LURTON, IFREMER, 1998, 110p.

Sous-partie 3

(14) Le livre des techniques du son, collectif direction Denis Mercier, Eyrolles, 3^{ème} édition, 2002.

(15) Enregistrer les oiseaux, Jean Roché, document Sittelle.

(16) Notice d'information des paraboles Telinga, Jean Roché, document Sittelle.

(17) Parabolic Reflector and Stereo Sound, K.C. Strandberg, Journal of Wildlife Sound Recording Society, vol 8, n°3.

PARTIE II
EXPERIMENTATION

Description de l'expérience

Ecoute des enregistrements

Tests d'écoute

Analyse et conclusion

Tests et comparaisons de systèmes de prise de son stéréo à distance

L'objet de cette expérience est de mettre en œuvre les principaux systèmes de prise de son examinés dans la partie théorique. On se propose donc de mettre en œuvre certains de ces systèmes sur le terrain. Avec comme objectif de réaliser une prise de son d'un soliste intégré à une large ambiance sonore ; elle aurait pu illustrer un plan moyen sur le soliste en documentaire animalier. Tous les systèmes évoqués n'ont cependant pas été essayés :

- le système basé sur le couple XY au foyer de la parabole n'a pas été testé, celui-ci n'ayant pas paru présenter d'intérêt particulier.
- Aucune expérience n'a été menée autour des systèmes basés sur deux capteurs directs (deux paraboles par exemple), voués à ne pas fonctionner.
- Les dispositifs de type « couple stéréo + appoint » n'ont été testés qu'avec un couple AB, celui-ci semblant être le plus intéressant pour ce type d'applications. Les comparaisons de couples stéréos sans appoints ayant déjà largement été traitées dans d'autres cadres, la solution paraissant la plus adaptée a été choisie directement dans un souci de simplification d'un protocole déjà lourd.

Dans le même esprit, il aurait pu être testé différentes valeurs d'écartement pour le couple AB, comme on l'a vu dans la partie théorique ; toutefois, ce type d'expérience a déjà été largement traité dans d'autres cadres, et on a donc choisi de se concentrer sur la question de l'utilisation de l'appoint, plutôt que sur le couple lui-même.

Le choix s'est porté sur le standard de référence, soit un couple AB formé de deux microphones omnidirectionnel, écarté de 37 cm, sans angulation. Ce choix peut être discuté avec intérêt, on se contera de mentionner le fait que notre intention étant d'obtenir une image large avec un soliste centré, le choix d'un grand angle de prise de son semblait préférable.

Le protocole expérimental

Dispositifs testés :

- Couple MS avec M en directivité "canon"
- Couple détaché AB + micro canon
- Couple détaché AB + parabole
- Couple détaché AB + micro "cravate" en "proximité"
- Parabole "stéréo" : avec tête PZM
- Parabole "stéréo" : avec couple MS au foyer de la parabole

Description de l'enregistrement :

Microphones utilisés :

- couple AB DPA 4006
- micro canon KMR82
- micro Schoeps MS MK8
- parabole équipée Schoeps MK4 + MK8
- parabole équipée tête PZM

- micro cravate à proximité de la source

Soit 9 micros en tout, enregistrés sur neuf pistes simultanément, permettant de construire six couples stéréo.

Autre matériel utilisé :

Sur les conseils de Philippe Barbeau, c'est un magnétophone Zaxcom Deva 4, gracieusement prêté par la société Areitec, qui a été utilisé. Cette machine disposant de huit préamplis et permettant d'enregistrer huit pistes sur disque dur et DVD-Ram s'est révélée être un outil précieux.

Contexte de l'enregistrement :

Les tests et l'enregistrement ont été réalisés dans la forêt domaniale d'Orléans, sur la commune de Boiscommun (45), pendant la deuxième semaine du mois de mai 2006, au lever du soleil, heure généralement riche en champs d'oiseau.

Déroulement de l'expérience

L'installation se déroule sans difficultés particulières. A une exception près, aucun des systèmes, individuellement, n'a présenté de difficultés de mise en œuvre particulière ; le seul problème a été de fixer sur des pieds les paraboles, prévues pour être tenus à la main, même si dans ce cas particulier le pied était indispensable.

En revanche, l'installation du micro-cravate ne s'est pas révélée possible ; les sujets intéressants étaient tous aux sommets d'arbres assez hauts, et le placement de ce micro aurait nécessité soit une nacelle élévatrice, peu compatible avec la discrétion requise pour la prise de son animalière, soit des talents d'escaladeur ; ne disposant ni de l'une ni de l'autre, j'ai renoncé à cette partie de l'expérience. De toute façon, étant limité à huit pistes en

enregistrement, j'étais dans l'obligation, une fois sur le terrain, de renoncer à l'option semblant la moins intéressante après rapide écoute au casque ; je n'ai finalement même pas eu l'occasion de faire cette sélection. Cet incident montre toutefois parfaitement les limites pratiques de cette approche « couple stéréo + appoint de proximité » !

Le sujet principal figurant sur l'enregistrement est un merle noir (*Turdus Merula*), comme me l'a appris un garde-forestier de l'Office National des Forêts présent sur les lieux. Le mâle de cet espèce chante dès la fin de l'hiver sur des sites en hauteur tels que grands arbres ou antennes.



Ecoutes des enregistrements

I/ Ecoute individuelle des différents microphones

- les DPA 4006 :

Le sujet principal s'entend bien, la couleur est équilibrée, il n'y a aucune agressivité, mais il ne se détache pas toujours, et sa restitution manque un peu de précision. Les plans sonores sont très clairs, avec le sujet un peu devant, d'autres oiseaux qui donnent l'impression d'être derrière, un coucou et quelques autres sons beaucoup plus loin.

L'enregistrement est très chargé dans le bas du spectre, en raison d'un fond d'air bruyant et d'un peu de vent ; un filtrage de l'extrême grave améliore beaucoup le rendu global.

- Le KMR82 :

Le sujet principal se détache vraiment, le rendu est très précis, sans agressivité. En revanche, le rendu de l'arrière-plan est un peu trop marqué dans l'aigu, et donc manque de réalisme ; son écoute est presque désagréable.

La réponse dans le bas du spectre est équilibrée ; on perçoit les véhicules au loin, mais sans impression de poids trop important.

On perçoit nettement du souffle dans le haut du spectre par rapport aux autres microphones, dû à un moindre niveau sonore inhérent au système, donc une plus forte amplification électronique relative.

- Le MK4 au foyer

On est frappé par le fort niveau que dégage ce système ; cela est dû à l'amplification acoustique de la parabole.

Le sujet principal est très largement en avant d'un environnement sonore très faiblement restitué. On a l'impression d'être très près de l'oiseau, de l'entendre à la fois très proche et très détaillé ; le son a un grain intéressant. Par contre, il devient parfois un peu agressif.

L'ensemble comporte très peu de basses fréquences.

D'une manière générale, la restitution du sujet est très intéressante, mais ce micro écouté seul donne vraiment l'impression de manquer d'environnement d'une part, d'une partie de son spectre d'autre part.

- Le MK8 en champ libre

Le niveau sonore est ici en revanche assez faible. Le sujet principal n'est pas du tout perçu devant, on le reconnaît dans l'arrière plan en y étant très attentif. En revanche on distingue bien d'autres oiseaux qui étaient en arrière plan avec les autres microphones, en particulier le coucou. On perçoit peu de basses fréquences, mais un peu de souffle. Cela donne une impression de son d'ambiance, sans sujet principal, et globalement assez floue, mais riche.

- Le MK8 au foyer

Le niveau sonore est important, et le sujet principal est significativement devant ; cela contredit les prévisions théoriques qui voulaient que les sons réfléchis par la parabole ne soient pas restitués par ce système, ce qui confirme qu'obtenir le réglage de ce système est très difficile, sinon impossible. En revanche, si on fait abstraction de la présence prépondérante du sujet principal, le rendu de l'arrière plan ressemble beaucoup à celui du MK8 en champ libre.

- Les PZM180

Le niveau sonore est de nouveau très important, en raison de l'amplification acoustique du système. Mais le souffle est également très important, et gênant. Comme pour le MK4, on a une impression de proximité du sujet et de grande précision dans l'aigu ; toutefois, la restitution spectrale est ici largement amputée, ceci n'étant à priori pas dû à la réponse fréquentielle du microphone. Un filtrage des aigus s'impose.

Ecoute des systèmes stéréo

1/ Ecoute comparative « en aveugle »

Une étudiante en deuxième année à l'ENS Louis Lumière, sachant quels systèmes avaient été utilisés et quelles en étaient leurs caractéristiques théoriques, a écouté de courts extraits (15') des enregistrements « en aveugle », c'est-à-dire sans savoir quel enregistrement elle écoutait, et a essayé de les identifier. Le résultat de ce jeu de devinette est assez intéressant, voici quelques extraits de son compte-rendu :

« D'emblée deux systèmes se démarquent, ceux où tout les microphones sont dans la parabole : le filtrage est évident, tout est dans l'aigu. J'identifie l'une comme étant la tête en raison de l'image stéréo incohérente, donnant l'effet de deux canaux séparés ; l'autre est donc l'enregistrement parabole MS.

« Des critères apparaissent rapidement lors d'une deuxième écoute des quatre autres : beaucoup plus de basses fréquences sur certains enregistrements, image stéréo plus ou moins réussie, mise en avant du sujet plus ou moins importante. Mais c'est surtout la différence de timbre du sujet principal qui me permet de séparer ces enregistrements en deux groupes : ceux réalisés avec le canon, et ceux avec la parabole. En effet, le timbre du canon est beaucoup moins agressif, et la reproduction du timbre plus fidèle.

« La différence entre 'parabole + AB' et 'parabole + MS' apparaît clairement ; l'un donne une image peu précise, et l'ensemble manque de grave, je l'identifie comme étant le MS. Pour les systèmes avec canon, la réponse en fréquence plus large de ce dernier lisse les différences de spectre, mais l'image stéréo me paraît meilleure sur l'un des deux systèmes ; je l'identifie comme étant le canon + AB. Cette fois je suis induite en erreur, puisque c'était l'autre ! »

Notre étudiante aux oreilles affûtées fait donc un quasi sans faute : les éléments essentiels de la théorie se retrouvent dans ses propos, qui laissent à penser d'emblée que le résultat de l'expérience est globalement conforme à ce qu'on attendait. Les systèmes laissent apparaître des qualités, et surtout des défauts, qui les caractérisent très facilement.

2/ Ecoute qualitative individuelle

Cette fois, on écoute les systèmes individuellement, longuement, sur une station Pyramix permettant entre autres une modification aisée des réglages d'équilibre, des égalisations éventuelles, des mesures de niveaux et de dynamique, l'utilisation d'un phase-mètre/oscilloscope, etc.

- Parabole avec MS au foyer

On note que le niveau général est très fort, et oblige à baisser le niveau d'écoute.

Le sujet est, en termes de niveau très largement devant ; Le sujet se dégage de l'ambiance jusqu'à 15 ou 20 dB, autant dire que c'est essentiellement lui qu'on entend.

L'ambiance est présente, mais on n'y identifie pas grand chose, on se contente de constater la présence d'un arrière plan sonore. Alors que le MK4 écouté seul donnait l'impression d'une grande proximité avec l'oiseau, ce n'est plus le cas ici, le S l'élargit un peu, semble ramener un peu de réverbération et de fond d'air qui l'habille très bien. Mais il s'agit bien d'un habillage du sujet, pas d'une intégration à une ambiance.

L'image stéréo est un échec : très exactement, il n'y en a pas. L'écoute donne une impression d'image très centrée, impression confirmée à l'oscilloscope où le signal est clairement orienté sur l'axe central. Les sons de l'arrière plan semblent tirer sur la gauche, ce qui est confirmé à l'oscilloscope quand le sujet se tait. En tout état de cause, l'angle de prise de son est très étroit, et ne permet pas de percevoir de latéralisation des sources secondaires.

En diminuant le niveau du M, on a d'abord l'impression d'élargir l'angle ; en fait, on se contente de créer une opposition de phase, qui évidemment ne change rien au fait qu'il n'y ait pas d'image.

Concernant le timbre, la réponse en fréquence du système est très pauvre : en fait le timbre global est donné par le signal du MK4, largement filtré par le réflecteur, et de fait, l'enregistrement dans sa globalité donne l'effet d'avoir une bande passante allant de 1 à 6 kHz ! Pour se faire une idée, on constatera que l'insertion d'une égalisation coupant à 400 Hz en bas et 8kHz en haut ne change effectivement qu'assez peu la sonorité globale de l'enregistrement.

- Parabole avec tête PZM

Le sujet est de nouveau très largement devant, et de nouveau se dégage de l'ambiance d'environ 15 dB. L'arrière-plan est un peu plus présent que dans la séquence précédente, mais globalement le problème est le même : le sujet principal est tout à fait prépondérant.

Comme avec le MS, on ne peut nullement parler d'image stéréo. On ne dira pas non plus que tout est au centre, car, de manière peu explicable, le sujet tend sensiblement à gauche, sans pour autant être très stable dans l'espace. Quant à l'ambiance, on se contente de constater qu'on n'entend pas tout à fait la même chose à gauche et à droite.

Pour le rendu spectral, la situation est catastrophique : il n'y a rien dans le bas du spectre, du souffle dans le haut. Du coup, l'égalisation évoquée plus haut provoque cette fois une différence significative : il y a moins de souffle.

- Parabole avec MS détaché

Avant d'aller plus loin, on constate que l'apport du S est quasiment nul : son niveau par rapport au M est tel qu'il est négligeable. Commuter le S entre ouvert et fermé montre qu'on n'écoute que le M, il est donc inutile de redire ce qui a déjà été dit plus haut dans l'écoute individuelle des microphones. L'écart de niveau entre les deux pistes est de l'ordre de 12 dB, on diminue donc M d'autant avant d'augmenter le général pour rééquilibrer les niveaux, et écouter ce qui se passe.

On ne reparlera pas de la restitution du sujet principal, proche du premier cas : forte présence, spectre réduit, etc. Là où la parabole MS donnait de l'air au sujet principal, ce n'est pas le cas ici, il paraît très proche, et ne fusionne pas du tout avec l'ambiance ; on a l'impression de deux sons superposés. C'est une différence importante, sur laquelle on reviendra dans l'analyse de ces écoutes.

L'ambiance, qui ne subit pas le filtrage du réflecteur, semble un peu plus riche spectralement, mais beaucoup moins fournie ; le problème pour l'image stéréo est le même, à savoir qu'il n'y en a pas vraiment, tout tend à gauche, ce qui est logique par rapport à la théorie. L'observation à l'oscilloscope est très intéressante : quand le sujet chante, tout est sur l'axe M, quand il ne chante pas, on bascule sur l'axe +/- S. En fait il n'y a rien de commun entre les deux signaux, donc pas d'interférences ordonnées.

- Couple AB avec appoint parabole

Se pose d'abord la question de l'équilibre entre le couple et l'appoint. J'ai choisi de prendre pour référence un niveau équilibré entre le niveau global du couple AB, et le niveau de la parabole quand le sujet principal chante. Cela est revenu concrètement à atténuer le niveau de la parabole d'environ une dizaine de dB par rapport au couple. Cette référence s'est révélée être un point d'équilibre intéressant, où l'appoint joue son rôle de soutien du sujet sans être trop devant pour autant. Ce choix garde toutefois nécessairement un aspect subjectif ; et forcément, je trouve le niveau sujet/ambiance intéressant, puisque c'est moi qui l'ai réglé. Mais il n'en reste pas moins que le fait de pouvoir justement régler ce dosage est un avantage important. Par ailleurs, il est aussi important de constater que le niveau fourni par la parabole me permet d'ajouter éventuellement beaucoup d'appoint sans ajouter de bruit de fond.

Je ne reviens pas sur le rendu du sujet qui n'a toujours pas vraiment changé. Si le sujet ressort trop, la différence de timbre entre AB et parabole devient problématique, et les deux sons ne fusionnent plus ; par ailleurs, le même problème se produit en termes d'image spatiale. Avec un faible niveau d'appoint, la restitution de l'ambiance fonctionne évidemment bien. Le couple ramenant du champ diffus au son de la parabole, le sujet est mis convenablement dans l'espace ; mais avec un tel équilibre, il ne ressort pas vraiment devant. Avec plus de niveau, on ressent de nouveau cette proximité du sujet, et la fusion sujet/ambiance se passe moins bien.

- Couple AB avec appoint canon

On part du même principe de réglage pour les équilibres de niveaux. Contrairement à la parabole, régler le niveau de l'appoint ne change pas seulement le niveau du sujet, mais aussi celui du bruit de fond que le micro canon rapporte, comme

on l'a vu. L'utilisation de l'appoint détériore clairement le rapport signal/bruit de l'ensemble. Cela limite les possibilités de faire ressortir le sujet. On choisit du coup un équilibre un peu en dessous de ce que donnerait le principe initial d'équilibre des deux sources, et du coup, le sujet ressort moins bien, même si il se dégage.

En termes de timbre, le son du sujet ramené par le canon est bien sûr plus intéressant, moins agressif, et plus réaliste. L'équilibre spectral y gagne par rapport à la séquence précédente, et la fusion ambiance/sujet aussi.

En termes d'image spatiale, le résultat est similaire, avec une ambiance qui fonctionne, et un sujet bien intégré ; mais la fusion entre eux fonctionne mieux, cette sensation de proximité donnée par la parabole ne se reproduisant pas ici.

- Canon MS

Le sujet s'entend bien, ne sonne pas trop proche, le timbre est réaliste et sans agressivité. Par contre, l'ambiance est d'une part très faible en niveau, d'autre part assez confuse ; le spectre est large, mais le timbre est très pauvre. On note que le bruit de fond du canon influe négativement l'écoute.

Concernant l'image spatiale, en MS standard, le rendu est très centré (confirmé à l'oscilloscope) ; mais si on tente d'ouvrir l'angle, on perd très vite le sujet principal, et l'image stéréo générale n'y gagne pas grand chose. Une fois de plus, on a l'impression que le son tend à gauche, même si cette impression est moins sensible qu'avec la parabole.

Tests d'écoutes auprès des étudiants en son de l'E.N.S. Louis Lumière

À partir du même extrait sonore, le chant du merle noir, on a fixé pour chaque système un réglage de mixage de référence, visant à lisser quelques différences flagrantes et à rendre le plus équilibré possible les différents systèmes.

Les traitements retenus sont les suivants :

- atténuation des basses fréquences sur le couple AB
- atténuation de l'extrême aigu sur la tête PZM (atténuation du souffle)
- atténuation du micro cardioïde de la parabole dans les prises le concernant (pour ne pas mettre le sujet principal trop en avant)
- équilibrage des niveaux entre les différents systèmes

Ces choix, par définition subjectifs, ont été faits pour rendre ces extraits plus comparables, dans le cas où l'on souhaiterait utiliser ce passage dans un cadre de production, par exemple un film documentaire avec un plan moyen sur l'oiseau. Ces corrections auraient alors été faites par le mixeur pour corriger des légers défauts de telle ou telle prise.

Cela permet, dans le cadre de ces tests, de se consacrer à une comparaison basée non sur le système « brut », comparaison qui comme on l'a vu est assez simple à faire, mais sur une comparaison plus fine visant à déterminer ce que le spectateur attentif ressent à l'écoute de telle ou telle prise, sans s'intéresser à la manière par laquelle elle a été réalisée.

L'avantage de cette approche a été de mettre en avant certains points intéressants sur la manière dont peut être ressenti tel ou tel système. L'inconvénient est qu'on a rendu ainsi la comparaison plus difficile. D'une part, parce que les extraits se ressemblaient parfois, et qu'il était difficile de les différencier clairement pour certains ; mais aussi parce qu'il était du coup demandé un jugement plus subjectif qu'objectif à l'auditeur.

Sur cette base, les huit extraits ainsi fixés ont été écoutés par une quinzaine d'étudiants de l'ENS Louis Lumière, « en aveugle ». Il leur était ensuite demandé de répondre au questionnaire ci-dessous, pour chaque extrait. L'opération était renouvelée trois fois, une pour chaque partie. Même si peu l'ont demandé, les auditeurs avaient la possibilité s'ils le souhaitaient de réécouter une prise.

Pour chaque extrait :

Partie A on ne s'intéresse qu'à l'ambiance.

Note de 1 à 10 et remarques :

- la largeur de l'image stéréo (a1)
- la localisation des sources (a2)
- le respect du timbre de l'ambiance (a3)
- le réalisme de l'ambiance (a4)

Vos impressions sur cette prise (ambiance) :

Partie B on s'intéresse au sujet principal : le merle noir.

Note de 1 à 10 et remarques :

- la distinction du sujet principal (b1)
- la qualité de la restitution du timbre du sujet (b2)

Vos impressions sur cette prise (sujet) :

Partie C on s'intéresse à l'ensemble de l'extrait.

Note de 1 à 10 et remarques :

- la justesse du dosage (niveau) entre ambiance et sujet principal (c1)
- la justesse des plans sonores entre ambiance et sujet principal (c2)
- la cohérence des timbres entre ambiance et sujet principal (c3)
- le réalisme du rendu d'ensemble (c4)

Vos impressions sur cette prise (ensemble) :

Vos remarques générales, sur les sons ou sur le test :

Votre niveau :

Critique du test

Comme souvent, ce test peut être judicieusement exposé aux critiques suivantes :

- une part certaine de subjectivité rend difficile la comparaison des réponses notées, de même que le faible ambitus généralement observé qui rend difficile l'interprétation de celles-ci.
- L'ordre selon lequel sont enchaînés les extraits joue sur le ressenti qu'en a l'auditeur : ainsi, il a été observé que l'extrait 5, qui suivait donc l'extrait 4 très mal ressenti, tendait à être particulièrement bien noté, l'auditeur se référant à l'extrait précédent. D'ailleurs, un même extrait diffusé à deux reprises dans la séquence, en troisième et dernière position, a reçu un accueil plus favorable lors de son second passage !
- Il ne concerne qu'un nombre réduit d'auditeurs, donc n'a pas de sens statistique.
- Le contexte même de l'écoute pouvait engendrer des stratégies d'écoutes différentes de la part des auditeurs. Ainsi, le terme de « fusion » a plusieurs fois été évoqués par des étudiants travaillant à ce moment cette notion dans une salle de cours voisine, sans qu'il ne soit repris par les autres...

Analyse des résultats

Pour les raisons citées plus haut, une analyse statistique poussée ne saurait avoir grand sens ; d'ailleurs des tentatives en ce sens n'ont rien révélé de très intéressant. On privilégiera donc plutôt une approche qualitative : comment ont été ressenties ces prises de son ? On utilisera pour cela les tendances significatives dans les notes, et surtout les remarques revenant plusieurs fois pour le même extrait, ou présentant un intérêt particulier.

Le couple AB

Ce grand classique de la prise de son reçoit des avis assez caractéristiques : la prise est « naturelle », « large », « cohérente », le timbre est apprécié.

En revanche, le sujet principal se dégage peu de la masse. Sur ce point, les auditeurs se divisent alors en deux groupes, ceux, nombreux, qui ne distinguent pas vraiment le sujet des autres oiseaux, et parlent alors d'un sujet « noyé », « pas assez détaché », allant jusqu'à évoquer « l'absence de sujet principal ». D'autres au contraire, jugeront du coup la prise « équilibrée », apprécieront que le sujet soit « fondu » dans l'ambiance. Cette différence entre les termes « fondus » et « noyés », qui reviennent chacun plusieurs fois, exprime bien cette différence de point de vue, dépendant sans doute des habitudes des uns et des autres à l'écoute des sons de la nature.

Beaucoup évoquent une « localisation difficile », un ensemble « un peu confus », « fouilli », une ambiance « très dense », « chargée ». Cela est vraisemblablement dû d'une part au fait que le sujet principal se confond plus avec l'ambiance, mais aussi au fait que les oiseaux « secondaires » sont nombreux sur cette prise, et en perpétuel déplacement.

La parabole avec MS détaché

Ce système est apprécié, bien sûr, pour sa restitution du sujet principal : il se « détache », est « plus distinct », parfois toutefois « trop en avant ».

L'image stéréo est considérée comme « plus étroite », avec un rendu « flou », jugé même « peu réaliste ».

Le timbre apparaît comme un autre point faible du système : « strident », « agressif », « trop médium », « trop brillant »...

Trois paires d'oreilles attentives évoquent « un léger problème de phase »

Au final, ce système ne provoque guère l'enthousiasme, au mieux il est reçu sans beaucoup d'intérêt, au pire, il est qualifié de « bizarre ».

Le couple AB avec appoint parabole

Un point fort est dégagé par une large majorité : les plans sonores. Ils sont « intéressants », « bien perceptibles », la prise « a du relief », « une belle profondeur ». Un auditeur évoque le ressenti d'une réverbération. Le sujet est « bien devant », l'espace est « grand », la prise de son a « de l'ampleur » ; la localisation est « aisée ».

Le timbre fait l'objet de peu de commentaires, mais reçoit assez nettement une meilleure note globale que les autres systèmes, atteinte seulement par le système 5 (canon MS). La « largeur spectrale » est remarquée.

Une « bonne dynamique », de « bonnes transitoires », sont notées pour la seule fois du test.

Enfin, la prise est souvent qualifiée de « réaliste », avec une bonne « précision des détails ». Il est intéressant de noter que plusieurs auditeurs entendent ici certains éléments sonores de la prise (sources secondaires) pour la première fois.

Cette prise est incontestablement celle qui plaît à la majorité. On est frappé d'ailleurs par l'abondance dans les commentaires d'un champ lexical assez subjectif lié à la beauté : « beau », « agréable », « bien ». De même, on note l'utilisation de termes liés à la nature (« coucou », « merle », « forêt »), quasi absents de tous les autres commentaires ; l'auditeur semble plus se laisser toucher par le contenu de la prise qu'avec les autres systèmes.

On ajoutera enfin que cette prise, écoutée deux fois, était parfois plus appréciée en seconde écoute qu'en première.

La parabole avec MS au foyer

À l'inverse, c'est cette fois la prise qui déplaît. Sa différence frappe immédiatement, y compris les quelques oreilles non exercées qui ont écouté les extraits rapidement en dehors de ce cadre.

Le sérieux problème de phase est immédiatement et lourdement mis en avant, voire est parfois rédhibitoire à tout autre jugement (un auditeur notera « zéro » sans autre commentaire).

La spatialisation est critiquée bien sûr, comme étant « étroite », et surtout « déséquilibrée », en tout cas « peu réaliste ». Mais c'est surtout du timbre dont il est question : le son est « strident », « agressif », « détimbré ».

La prise est jugée « bizarre », « irréaliste », « déséquilibrée », avec un sujet beaucoup trop devant qui « ne colle pas » avec l'ambiance.

Le dispositif « MS canon »

Concernant la spatialisation, le manque de plan sonore est parfois regretté (« peu de profondeur », « plans très proches ») ; en revanche, la prise est souvent qualifiée de « large », « aérée ».

La qualité spectrale de la prise de son est mise en avant (« belle couleur », « timbre agréable »), et là encore fait appel à des adjectifs plus subjectifs.

La présence de souffle est toutefois notée à deux reprises.

Le rapport entre ambiance et sujet est également apprécié ; il sera qualifié de « cohérent », « homogène », un auditeur a « une bonne sensation de fusion ».

D'une manière générale, la prise est jugée « naturelle » et « réaliste ».

En ce qui concerne la notation, ce dispositif sort du lot clairement, au côté du système 3, pour la qualité du timbre et le réalisme ; cependant, ce point est sans doute à pondérer par le fait que son écoute intervenait après celle du dispositif 4, particulièrement mal apprécié, et a semblé du coup parfois un peu « sur-notée ».

Le dispositif « parabole avec tête PZM »

Ce dispositif est jugé très différemment selon qu'on s'intéressait à l'ambiance ou au sujet. Les notes moyennes le reflètent bien : celles des parties A et C du test sont moyennes, mais celle de la partie B est nettement en tête sur tout les autres systèmes.

L'ambiance est ainsi considérée comme manquant de largeur comme de profondeur, est qualifiée de « resserrée », « plate », la localisation des sources est imprécise, le spectre étroit.

En revanche le rendu du soliste est apprécié pour différentes raisons : il se « détache bien », (ou « ressort bien », « se distingue bien »), son timbre est peu commenté, mais particulièrement bien noté (meilleure note de l'ensemble là encore).

Pour l'ensemble, la prise laisse une impression plutôt négative à beaucoup : l'impression de « deux espaces distincts », impression de « tassement de l'ambiance », le « poids du soliste est trop fort », il « élude tout les autres », un auditeur mentionne « l'impression de zoom » sur cet oiseau.

La parabole avec appoint canon

À l'inverse du système précédent, c'est ici la restitution de l'ambiance plus que celle du soliste qui est appréciée : on retrouve des éléments présents sur les autres systèmes à couple AB (densité de l'ambiance, équilibre, difficulté de localisation), en revanche l'ambiance est ressentie comme « serrée » ; cela est sans doute dû au micro canon qui ramène beaucoup d'ambiance au centre.

L'accent est mis sur un léger détimbrage, fréquemment remarqué, et surtout sur un manque de présence du soliste, « un peu noyé », « difficile à suivre », qui « ne ressort pas ». Du coup cette prise semble laisser un sentiment de « confusion », de « flou », ou encore de « manque de précision ».

Là encore, il convient de remarquer que ces éléments de remarques interviennent après l'écoute du système 6, qui laisse la part belle au soliste.

Synthèse

Les deux systèmes les plus appréciés semblent être le 3 (parabole avec appoint canon), puis le 5 (MS canon) ; ce sont les deux systèmes que les auditeurs, en fin de compte, semblent avoir écouté avec plaisir. Le premier fait l'objet de peu de critique, le second un peu plus, concernant la spatialisation.

D'autres systèmes apparaissent plus en retrait : le 7 (AB appoint canon) qui souffre d'un soliste trop en retrait, le 2 (parabole avec MS détaché) et son détimbrage trop marqué.

Le système 6 (tête PZM) est reconnu pour sa qualité de captation du soliste, le 1 (couple AB) pour sa restitution de l'ambiance, mais ces deux systèmes sont trop « spécialisés » dans ces fonctions.

Le système 4 (parabole MS) est, sans surprise, massivement rejeté.

Approche générale des résultats notés :

Une approche globale est rendu possible à travers deux angles de comparaisons :

- le groupe de système utilisant la parabole, et ceux utilisant le canon.
- le groupe de système utilisant le couple AB, et les autres ;

En ce qui concerne le premier angle, on retrouve parfaitement, dans les résultats de ce test, les caractéristiques des systèmes telles que montrés dans la partie théorique. La parabole fonctionne bien dès qu'il s'agit d'isoler un soliste, les systèmes basés sur une parabole sont donc appréciés dans la partie B du test, dans les remarques bien sûr, mais également dans les notes attribuées, assez significatives ;

Parabole + PZM	16,6
Parabole + MS	14,2
Parabole + AB (2)	13,0
Parabole + AB (1)	12,8
Parabole + MS détaché	12,5
Canon + AB	10,9
Canon + MS	10,4
Couple AB	9,9

Score moyen pondéré ramené sur 20 à la question A/1 « distinction du sujet principal »

En revanche, la sonorité et le réalisme semblent souffrir de son utilisation, et à l'exception de la tête PZM, les systèmes sans parabole sont mieux appréciés :

	Groupe « parabole »	Groupe « sans parabole »
Timbre de l'ambiance	11,7	13,1
Timbre de l'ensemble	11,9	13,7
Réalisme de l'ensemble	11	14

Score moyen pondéré ramené sur 20 aux questions A3, C3, C4

Avec l'autre angle d'approche, considérant à différencier les systèmes basés sur un couple AB par rapport aux autres, on peut constater que les systèmes avec AB sont globalement mieux notés :

	Groupe « AB »	Groupe « AB »
Questions liées au timbre	13,3	11,8
Questions liées à l'espace	12,5	11,6
Questions liées au réalisme	13,2	11,7

Score moyen pondéré ramené sur 20 aux questions A3-B2-C3 / A1-A2-C2 / A4-C4.

Analyse et conclusions

Si ce n'est sur un point, la réponse du « S » dans la parabole, sur lequel on reviendra, cette expérience tend à confirmer les différents éléments qu'on avait pu tirer de la partie théorique.

Les limites des systèmes basés sur la parabole sont vite apparues : réponse spectrale étroite, agressivité du timbre dû à la bosse dans le médium, limitation de cet outil à des angles très étroits pour la prise de son stéréo. La parabole est un outil idéal pour l'ornithologue, qui cherchera à identifier un oiseau précis, à se constituer une collection sonore ; pour des applications de production où l'exigence de qualité est forte, que ce soit dans l'objectif de produire un disque ou la bande sonore d'un film, elle ne semble pas utilisable en tant que telle, mais peut faire un appoint précieux.

L'inadaptation du matricage M.S. quand le M est trop directif est également mise en avant. Avec le microphone à interférence, on obtient un résultat correct avec un petit angle de prise de son ; mais l'image stéréo laisse à désirer, et l'ambiance est peu restituée. Avec la parabole, la restitution de la scène sonore tourne au désastre, comme on s'y attendait.

Toutefois, on a remarqué un phénomène intéressant : le système avec le couple MS au foyer avait un avantage, c'est d'obtenir un sujet à la fois très isolé, mais qui ne donnait pas l'impression de proximité laissée par le M seul. Ce n'était pas le cas avec le S détaché, alors que la théorie prévoyait des résultats semblables ; mais on a vu que, alors que le S au foyer n'aurait pas dû restituer le sujet, il était largement présent dans les faits. Cela laisse à penser que le S capte donc des ondes réfléchies par la parabole qui n'étaient pas en phase, donc ne provenaient pas de la même source, et pourtant étaient toutes le son du sujet. On peut faire l'hypothèse qu'il s'agisse des toutes premières réflexions sur l'environnement immédiat de l'oiseau (l'arbre), non prises en compte par une théorie décrite dans une hypothèse de champ libre, qui créaient des sources multiples latérales n'arrivant pas de manière homogène au réflecteur.

Le couple AB reste en revanche un outil précieux et fiable pour obtenir des scènes réalistes, larges tant sur le plan spatial que sur le plan spectral, et qui donne le plus beau résultat ; ce n'est pas pour rien qu'il est régulièrement utilisé sur des projets de qualité. Cependant, un appoint est nécessaire pour faire ressortir éventuellement le sujet qui nous intéresse particulièrement. La parabole avec microphone cardioïde est dans ce cas, avec sa forte directivité et son gain acoustique, un outil très efficace, pourvu qu'on la mixe à un niveau raisonnable.

J'ai essayé, par curiosité, une solution complémentaire : utiliser comme appoint non pas le simple MK4, mais le couple MS. Avec un peu de travail de mixage, consistant à filtrer un peu le couple MS afin d'une part d'en gommer l'agressivité, et d'autre part d'en couper les basses et hautes fréquences pour ne pas risquer d'interférence avec le couple BA sur l'ambiance, puis à équilibrer les différents niveaux, on obtient un résultat très intéressant : assez proche du système Ab + parabole mono, mais avec une meilleure fusion, le S apportant les premières réflexions qui manquaient sinon sans dégrader le reste. Reste que si j'ai obtenu le résultat le plus intéressant ainsi, ce système utilisant un couple AB, un couple MS, un réflecteur, un

multipiste et un travail de postproduction n'est peut être pas le plus adapté à la réalité de terrain !

Le microphone interférence, dans le cas d'une prise à distance, montre ses limites ; son utilisation sera plus intéressantes pour des sources plus proches qu'il parviendra à bien isoler. Dans ce cas, qui suppose un plan sonore plus étroit, l'utilisation du « canon MS » peut être justifié et intéressante ; le rendu reste intéressant en terme de timbre, et on a vu que le système fonctionnait pour de petits angles de prise de son. L'avantage évident étant sa simplicité de mise en œuvre.