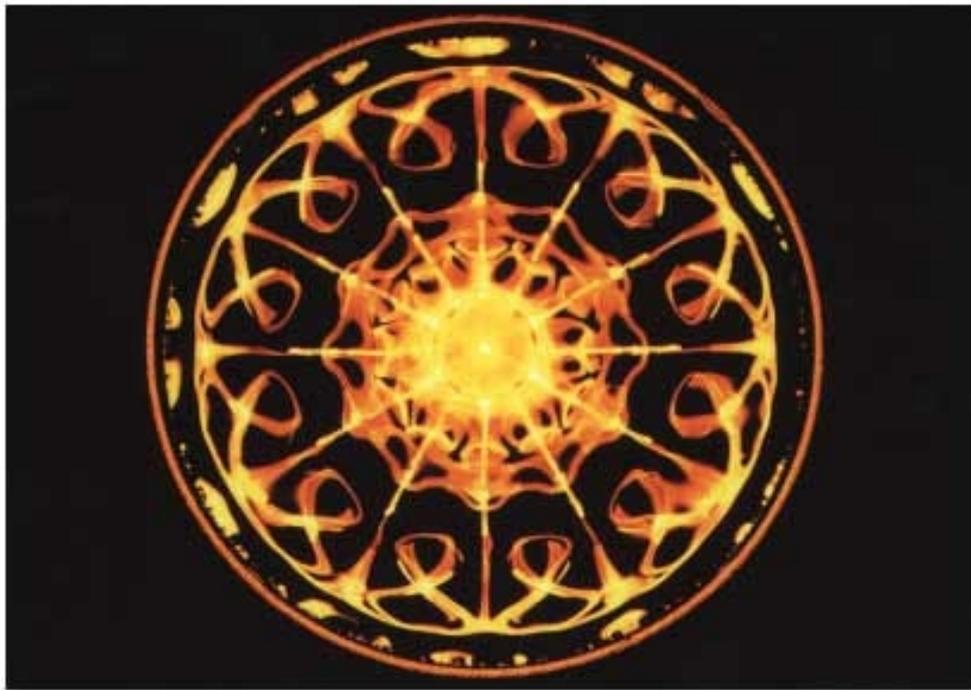


**CONSERVATOIRE NATIONAL SUPERIEUR
DE MUSIQUE ET DE DANSE DE PARIS**

FORMATION SUPERIEURE AUX METIERS DU SON

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

**PERCEPTION SUBAQUATIQUE:
ADAPTATION DE L'ECOUTE
STEREOPHONIQUE
EN PETIT BASSIN**



**Présenté par:
ETIENNE OURY**

**Dirigé par:
CORSIN VOGEL**

**Soutenu en:
Juin 2008**

Photographie de couverture:
Résonance d'une goutte d'eau à 30,5 HZ
Alexander Lauterwasser

Remerciements

Merci à Corsin Vogel,
mon directeur de mémoire, qui m'a accompagné tout au long de
l'année avec enthousiasme et clairvoyance.

Merci à Noël Canivenq,
fondateur de la société Aquamusique, qui a cru en ce projet, et
qui m'a prêté le matériel nécessaire au déroulement des tests.
Son aide a aussi été précieuse pour trouver une piscine pour les
expériences.

Merci à Bernard Boulet,
de la Fédération Française de Natation, et au personnel de la
piscine Mathis, pour leur accueil et leur disponibilité. Merci plus
particulièrement à Mme Linh Do, la responsable du Service du
Sport de Proximité de la ville de Paris.

Merci à Cédric Joder,
qui a attrapé une bonne bronchite en m'aidant à faire des
expériences préliminaires dans ma baignoire, et qui est quand
même revenu à la piscine par la suite.

Merci enfin à tous ceux
qui se sont mouillés dans ce projet, et qui m'ont rendu des
questionnaires tout trempés, à peine lisibles mais fort
intéressants. Dans l'ordre alphabétique : Romain Allender, Alexis
Anerilles, Elise Boisseau, Julien Bourdin, Virginie Burgun,
Natacha Canton, Sophie Canton, Sebastien Chonion, Baptiste
Chouquet, Clément Damès, Jeanne Delacroix, Mariette Girard,
Camille Giuglaris, Mireille Faure, Pierre Favrez, Aurélie Ferrière,
Axelle Ferrière, Géraldine Foucault, Julien Hulard, Cédric Joder,
Laurent Malys, Aurélie Martin, David Menke, Pierre Merle,
Cyrille Métivier, Sylvain Morizet, Matthias Muracciole, Christian
Oury, Aude-Marie Piloiz, Benjamin Ribolet, Roland Seilhes, Corsin
Vogel, Jacques Warnier

Table des Matières

| | |
|--|-----------|
| Remerciements..... | 2 |
| Table des Matières..... | 3 |
| Table des Figures..... | 5 |
| 0 Introduction..... | 6 |
| 1 Etat de l'art..... | 7 |
| 1.1 Historique..... | 7 |
| 1.2 Recherches scientifiques actuelles..... | 8 |
| 1.3 La musique subaquatique..... | 9 |
| 2 Cadre Théorique..... | 10 |
| 2.1 Eléments d'acoustique sous-marine..... | 10 |
| 2.1.1 Caractéristiques du milieu..... | 10 |
| 2.1.2 Les ondes élastiques de compression..... | 11 |
| 2.1.3 Echelle de mesure et pression de référence..... | 12 |
| 2.2 Perception auditive en milieu aérien..... | 13 |
| 2.2.1 Fonctionnement de l'oreille humaine..... | 13 |
| 2.2.2 Ecoute binaurale..... | 15 |
| 2.2.3 Indices Monoraux..... | 17 |
| 2.3 Perception auditive en milieu subaquatique..... | 18 |
| 2.3.1 Mode de conduction..... | 18 |
| 2.3.2 Mécanismes de localisation..... | 19 |
| 2.4 Ecoute musicale en petit bassin, contribution acoustique du bassin.. | 22 |
| 2.4.1 Etat de la recherche..... | 22 |
| 2.4.2 Eléments d'acoustique des salles..... | 22 |
| 2.4.3 Adaptation au milieu subaquatique..... | 23 |
| 3 Problématique et cadre expérimental..... | 24 |
| 3.1 Problématique..... | 24 |
| 3.1.1 Ecoute musicale en bassin..... | 24 |
| 3.1.2 Ecoute stéréophonique..... | 24 |
| 3.1.3 Sur une comparaison avec l'écoute aérienne..... | 25 |
| 3.2 Partenariat avec Aqua Musique..... | 26 |
| 3.2.1 Domaine d'activité..... | 26 |
| 3.2.2 Les haut-parleurs H062m..... | 26 |
| 3.2.3 Les attitudes d'écoute..... | 27 |
| 3.3 La Piscine Mathis..... | 28 |
| 3.3.1 Choix de la piscine..... | 29 |
| 3.3.2 Les séances de tests..... | 29 |
| 3.4 Déroulement des tests..... | 30 |
| 3.4.1 Description des tests..... | 30 |
| 3.4.2 Sujets..... | 30 |
| 3.4.3 Contenu du premier questionnaire..... | 31 |
| 3.4.4 Contenu du deuxième questionnaire..... | 31 |
| 3.4.5 Contenu du troisième questionnaire..... | 32 |
| 3.4.6 Contenu du quatrième questionnaire..... | 32 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 4 | Expérimentation..... | 33 |
| 4.1 | Mesures physiques..... | 33 |
| 4.1.1 | Description du matériel de mesure..... | 33 |
| 4.1.2 | Résultats..... | 34 |
| 4.2 | Introduction aux tests perceptifs..... | 40 |
| 4.3 | Ressenti physique..... | 41 |
| 4.3.1 | Analyse..... | 41 |
| 4.3.2 | Conclusions..... | 42 |
| 4.4 | Rendu spectral, musical et dynamique..... | 43 |
| 4.4.1 | Rendu spectral..... | 43 |
| 4.4.2 | Rendu musical..... | 44 |
| 4.4.3 | Rendu dynamique..... | 45 |
| 4.4.4 | Conclusions..... | 46 |
| 4.5 | Contribution du bassin..... | 47 |
| 4.5.1 | Acoustique du bassin..... | 47 |
| 4.5.2 | Homogénéité du bassin..... | 48 |
| 4.5.3 | Conclusions..... | 50 |
| 4.6 | Localisation..... | 51 |
| 4.6.1 | Localisation frontale..... | 51 |
| 4.6.2 | Localisation dans le plan des enceintes..... | 53 |
| 4.6.3 | Point d'écoute..... | 55 |
| 4.6.4 | A propos des oreilles bouchées..... | 55 |
| 4.6.5 | Conclusions..... | 56 |
| 4.7 | Recherche post-expérimentale..... | 57 |
| 4.7.1 | Etude modale..... | 57 |
| 4.7.2 | Acoustique des matériaux..... | 58 |
| 5 | Discussions, conclusions et perspectives..... | 60 |
| 5.1 | Synthèse des différentes expériences..... | 60 |
| 5.2 | Perspectives..... | 61 |
| 5.3 | Eléments thérapeutiques..... | 62 |
| 5.4 | Epilogue..... | 62 |
| 6 | Bibliographie..... | 63 |
| 7 | Annexes..... | 65 |
| | Sommaire des annexes..... | 66 |

Table des Figures

| | |
|---|----|
| Fig. 1: Jean-Daniel Colladon sur le Lac de Genève (<i>d'après J.C. Cailliez</i>)..... | 8 |
| Fig. 2: Schéma de l'oreille (<i>d'après D. Pickard</i>)..... | 14 |
| Fig. 3: Fonction de transfert de l'oreille moyenne (<i>Nedzelnitsky, 1980</i>)..... | 15 |
| Fig. 4: Cochlée (<i>d'après R. Pujol</i>)..... | 15 |
| Fig. 5: Membrane basilaire (<i>d'après S. Blatrix</i>)..... | 15 |
| Fig. 6: Calcul des DIT, modélisation de Woodworth..... | 16 |
| Fig. 7: Evolution de la différence d'intensité en fonction de la position de la source sonore aux fréquences 200 Hz, 1 kHz, 4 kHz et 6 kHz (<i>d'après Fedderson, Sandel, Teas et Jeffress</i>)..... | 17 |
| Fig. 8: MAA pour des son purs à 0°, 30°, 60° et 75° (<i>Mills, 1972</i>)..... | 18 |
| Fig. 9: Comparaison des DIT aériennes et subaquatiques (<i>Savel, 2003</i>)..... | 19 |
| Fig. 10: Angle subaquatique de 120° perçu comme un angle de 20° en aérien.. | 22 |
| Fig. 11: SPA Musical – Aqua Musique..... | 24 |
| Fig. 12: Haut-parleur subaquatique H062m..... | 27 |
| Fig. 13: Natte de flottaison..... | 28 |
| Fig. 14: Schéma du petit bassin de la piscine Mathis..... | 29 |
| Fig. 15: Séance du 22 février..... | 29 |
| Fig. 16: Schéma et photo du dispositif..... | 34 |
| Fig. 17: FFT du sweep dans le bassin à 1 m..... | 35 |
| Fig. 18: FFT du sweep original généré par Altiverb..... | 36 |
| Fig. 19: FFT du bruit blanc généré par Pyramix..... | 36 |
| Fig. 20: Comparaison du sweep (en haut) et du bruit blanc (en bas) à 1 m..... | 37 |
| Fig. 21: Sweep dans le bassin à 8 m..... | 38 |
| Fig. 22: Comparaison du sweep à 1 m (en haut) et du sweep à 8 m (en bas)..... | 38 |
| Fig. 23: Mesures dans une baignoire..... | 39 |
| Fig. 24: Sweep dans la baignoire..... | 39 |
| Fig. 25: Implémentation des IR dans l'Altiverb..... | 40 |
| Fig. 26: Bassin vu de dessus..... | 48 |
| Fig. 27: Zone d'écoute préférentielle..... | 48 |
| Fig. 28: Position des haut-parleurs..... | 49 |
| Fig. 29: Position d'écoute, placement des enceintes..... | 50 |
| Fig. 30: Placement des auditeurs..... | 52 |
| Fig. 31: Point d'écoute optimal..... | 56 |

0 Introduction

L'eau recouvre 70% de notre planète, et elle est habitée par une multitude de sons. Dans ce milieu, la lumière se propage très mal et la vue ne tient qu'une place minime. C'est donc l'ouïe qui est le sens le plus développé chez les habitants des mers. Les mammifères marins sont là pour nous le rappeler : une baleine entend dans la bande de fréquence 10 Hz – 200 kHz, et elle est capable d'entendre un chant d'une de ses voisines à des dizaines de kilomètres à la ronde. Notons au passage que sur 2000 chants de baleines enregistrés dans le golfe du Saint-Laurent en 2005, seulement 2 étaient simultanés... Comme quoi les baleines sont des êtres civilisés qui ne se coupent jamais la parole.

Partant du constat que la musique est pour beaucoup de personnes un moment de relaxation et de détente, et que les supports d'enregistrement actuels nécessitent que l'auditeur soit placé à un point d'écoute précis (le sweet spot), écouter de la musique sous l'eau peut s'avérer une expérience très intéressante. Si l'on restreint l'étude à une utilisation domestique, c'est-à-dire un volume de petite taille (une piscine privée, ou même une baignoire), nous avons là une situation qui réunit les points suivants : temps libre, détente, point d'écoute (dans une baignoire)... et bien sûr immersion.

L'intérêt de cette démarche est avant tout de voir si il est possible d'optimiser l'écoute de musique enregistrée en stéréo (format d'écoute le plus utilisé) et d'apprécier le rendu musical de différents styles de musique. Cela permettrait de répondre à la question suivante: est-il possible d'apprécier sous l'eau un enregistrement prévu pour une écoute aérienne, ou faut-il repenser la musique autrement, en termes de composition mais aussi de mixage.

Les études sur ce sujet sont peu nombreuses, et il n'existe pratiquement pas d'études alliant les aspects physiques, perceptifs et musicaux du sujet. Les études psychoacoustiques sont réalisées en champ libre pour des applications en pleine mer. Il est donc très difficile de prévoir comment va se comporter un bassin. De plus, ces études utilisent essentiellement des stimuli simples (fréquences sinusoïdales pures, bruit blanc), et ne permettent pas de tirer des conclusions quant à la restitution des timbres. Enfin, certaines études montrent qu'il est possible de localiser sous l'eau (Savel, 2001; Bernaschina, 2003) alors que certaines personnes qui sont habituées à écouter de la musique sous l'eau soutiennent que l'on perçoit de la monophonie (discussions lors du Salon de la Piscine et du Spa, nov. 2007). Ce mémoire va donc tenter d'apporter des éléments de réponses à ces questions en abordant l'écoute subaquatique d'un point de vue scientifique et acoustique, mais aussi psychoacoustique et musical.

1 Etat de l'art

1.1 Historique

Le milieu aquatique est très propice à la propagation d'ondes sonores. Les humains se sont d'ailleurs intéressés au son dans l'eau depuis longtemps. Aristote et Pline le Jeune se demandaient déjà si les poissons entendaient. Dans la Chine antique, les pêcheurs localisaient les bancs de poissons en écoutant le bruit de la mer à l'aide d'une tige de bambou dont l'une des deux extrémités plongeait dans l'eau, pratique qui existe encore dans certaines tribus de Malaisie. Léonard de Vinci avait aussi remarqué que « si l'on se place sur son bateau immobile et si l'on place le bout d'un long tube dans l'eau et l'autre extrémité sur son oreille, on entendra les bateaux éloignés ».

Les premières études scientifiques ont été menées en 1810 dans le port de Marseille par le physicien français François-Sulpice Beudant qui arrive à déterminer la valeur de propagation de 1500 m/s à l'aide d'une cloche et d'un stéthoscope. En 1826, sur le Lac Léman, Jean-Daniel Colladon réalise les premières grandes expériences sur la propagation acoustique.

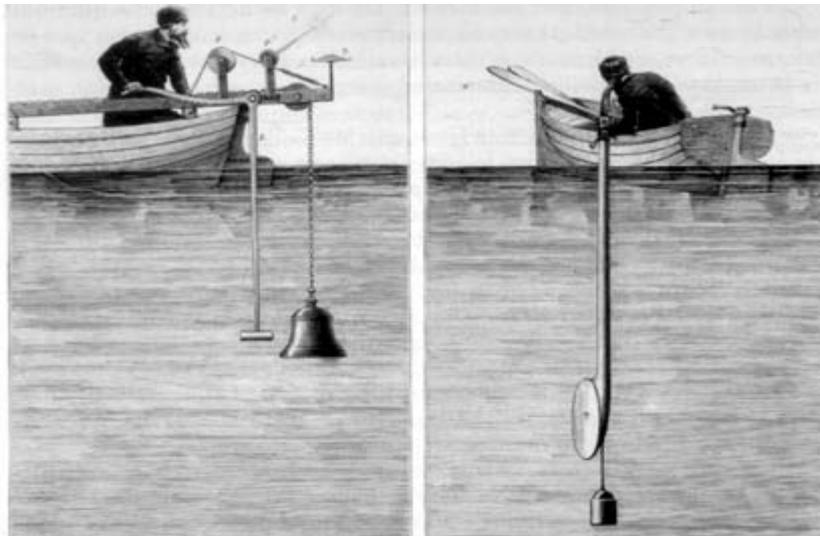


Fig.1: Jean-Daniel Colladon sur le Lac de Genève (d'après J.C. Cailliez)

En 1869, Jules Verne écrivait :

« Les moindres Bruits se transmettaient avec une vitesse à laquelle l'oreille n'est pas habituée sur terre. En effet, l'eau est pour le son un meilleur véhicule que l'air, et il s'y propage avec une rapidité quadruple. (...) Des bruits profonds, nettement transmis par ce milieu liquide, se répercutaient avec une majestueuse ampleur. »

Jules Verne,
Vingt Mille Lieues Sous Les Mers

Les premières applications de l'acoustique sous-marine sont envisagées à la fin du XIXe siècle afin de guider les navires transatlantiques aux abords des côtes américaines à l'aide d'émetteurs sonores. Par la suite, la construction des sous-marins fait apparaître un nouveau besoin : repérer les sous-marins en plongée. Le premier sonar est inventé en 1915 par Paul Langevin, et les sonars américains causeront la perte des sous-marins allemands en 1943.

1.2 Recherches scientifiques actuelles

Depuis ce temps, la recherche en acoustique sous-marine est essentiellement restreinte à l'étude des fonds marins et à des applications militaires : détection de sous-marins et de mines.

Les premières études psychoacoustiques sont menées dans les années cinquante, en marge néanmoins des études pour le milieu aérien. Des sous-marinières appelés « Oreilles d'Or » se sont spécialisés dans la reconnaissance des sons subaquatiques. Il s'agit dans un premier temps de retranscription dans le domaine aérien de sons subaquatiques. Ensuite, des études sur la perception subaquatique montrent assez vite que les mécanismes de l'oreille sont altérés (Sivian, 1947).

Enfin, de nos jours, les recherches ont lieu avant tout au sein de l'armée américaine, mais aussi au LMA (Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique) de Marseille, et au laboratoire IFREMER (Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la MER) à Brest. Sophie Savel a présenté une thèse en 2001 sur la localisation auditive subaquatique avec pour objectif d'améliorer l'orientation des plongeurs à l'aide de balises sonores, et François Bernaschina a présenté un travail sur le même sujet en 2003 à Genève.

1.3 La musique subaquatique

Les études scientifiques sont toujours menées avec des signaux sinusoïdaux, quelquefois des bruits blancs, mais guère plus. Si l'on cherche à obtenir des informations sur le rendu musical sous l'eau, c'est vers les compositeurs qu'il faut se tourner. Michel Rédolfi (« La Citta Liquida », Venise 2006, ou « Oniris-The Dream Tank », Nuit Blanche, Paris 2006) donne des explications très intéressantes sur la perception subaquatique car elles sont exprimées d'un point de vue musical et artistique. Il explique notamment que les timbres subaquatiques sont perçus comme medium/aigus (500-5000 Hz) ce qui leur confère une fragilité cristalline. La perception est monophonique, à l'intérieur du crâne. Il explique qu'il existe un masquage temporel de 50 ms qui masque les premières réflexions et donnent l'impression de champ direct permanent. Selon lui, le milieu aquatique se prête à une musique éthérée, et nécessite qu'elle soit pensée différemment et composée spécialement pour le milieu aquatique.

Noël Canivenq, fondateur de la société Aquamusique, avance l'hypothèse du « massage intra », soit « la conjonction de deux écoutes: l'une, traditionnelle, amplifiée via l'oreille, et l'autre, corporelle, et non-décodée par l'oreille mais ressentie par le corps sous forme d'une vibration ayant pour origine une tension alternative modulée ».

2 Cadre Théorique

Certaines données scientifiques ont été vérifiées à partir des expériences menées dans ce mémoire. Elles seront exposées dans la partie 4.7. Il n'est traité ici que des recherches effectuées a priori.

2.1 Eléments d'acoustique sous-marine

2.1.1 Caractéristiques du milieu

2.1.1.1 Masse Volumique

L'eau a pour masse volumique:

$$\rho_{eau} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

Celle-ci ne varie quasiment pas en fonction de la température, du moins dans la gamme 20°C – 40°C qui nous intéresse (température classique de « baignade »). Le cas de l'eau salée peut-être mentionné car il existe de plus en plus de piscines salées. La masse volumique de l'eau salée est $\rho_{mer} = 1030 \text{ kg/m}^3$

2.1.1.2 Célérité

La vitesse de propagation de l'onde est imposée par les caractéristiques du milieu. L'eau étant un fluide incompressible, la célérité c dépend de la masse volumique ρ et du module d'élasticité E de ce milieu. Elle est donnée par la relation :

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho_{eau}}}$$

Avec $E = 2,25 \cdot 10^9 \text{ Pa}$, ce qui donne:

$$c = 1500 \text{ m.s}^{-1}$$

La vitesse de propagation augmente avec la salinité de l'eau et avec sa température ($+3 \text{ m.s}^{-1} \text{ par degré}$)

2.1.1.3 Impédance acoustique

Nous pouvons ensuite obtenir l'impédance acoustique caractéristique de l'eau :

$$Z_{eau} = \rho_{eau} c = 1,5 \cdot 10^6 \text{ Pa.s.m}^{-1}$$

Cette impédance est beaucoup plus élevée que celle de l'air. L'impédance de l'air est $Z_{air} = 360 \text{ Pa.s.m}^{-1}$ à 20°C (soit un rapport de 3500). Comme l'eau est un fluide incompressible, sa densité se rapproche plus des matériaux solides, et aussi de la densité du corps humain. Les impédances sont proches et cela va entraîner des changements dans la transmission des ondes d'un milieu à l'autre. Dans l'eau, les ondes sonores traversent le corps humain et celui-ci est perçu comme transparent par l'onde.

2.1.1.4 Facteur d'amortissement

Voici un tableau du facteur d'amortissement α en fonction de la fréquence:

| | | | | | | | | | |
|------------------|-------|------|------|-----|----|----|-----|-----|------|
| f (kHz) | 0,1 | 0,3 | 1 | 3 | 10 | 30 | 100 | 300 | 1000 |
| α (dB/km) | 0,001 | 0,01 | 0,07 | 0,1 | 1 | 5 | 30 | 100 | 500 |

Dans le spectre audible on remarque que les pertes sont minimales en fonction de la distance parcourue. L'atténuation sera donc entièrement due aux pertes par divergence (cf § suivant) et aux pertes par transmission au niveau des parois.

2.1.2 Les ondes élastiques de compression

Les ondes acoustiques dans les liquides et les gaz obéissent aux mêmes lois de la mécanique des fluides. Comme pour le milieu aérien, on peut donc partir de l'équation de d'Alembert pour déterminer la pression acoustique p :

$$\frac{\partial^2 p(x, y, z, t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p(x, y, z, t)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 p(x, y, z, t)}{\partial z^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p(x, y, z, t)}{\partial t^2}$$

Pour une propagation dans une seule direction, l'équation devient :

$$\frac{\partial^2 p(x, t)}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p(x, t)}{\partial t^2}$$

et admet comme solution :

$$p(x, t) = \exp\left(2\pi i f_0 \left(t - \frac{x}{c}\right)\right)$$

avec f_0 , la fréquence de l'onde sinusoïdale.

Lorsque l'on considère la propagation selon les trois directions de l'espace supposé isotrope, on montre que la solution est une onde sphérique d'équation :

$$p(r, t) = \frac{p_0}{r} \exp(2 \pi i f_0 (t - \frac{r}{c}))$$

avec une décroissance en $1/r$ de l'amplitude de l'onde, soit -6 dB par doublement de distance.

L'intensité acoustique I à une distance R du point d'émission est donnée par la relation:

$$I = \frac{p^2}{R}$$

L'intensité acoustique est une grandeur homogène au carré de la pression acoustique. Elle décroît donc en $1/r^2$ soit -3 dB par doublement de distance.

2.1.3 Echelle de mesure et pression de référence

L'unité de mesure utilisée sera toujours le décibel, et l'abréviation « log » signifie logarithme de base 10. Lorsque l'on souhaite parler d'un niveau absolu de pression, il est nécessaire d'avoir une pression de référence. Sous l'eau, celle-ci n'est pas 20 μ Pa comme dans l'air (seuil d'audition à 1 kHz) mais de 1 μ Pa, soit 26 dB de plus que pour l'air.

$$p_{ref} = 1.10^{-6} Pa$$

On ne parle donc plus de dB SPL (Sound Pressure Level), mais de dB SL (Sound Level), à ne pas confondre avec le dB SL (Sensation Level) utilisé en psychoacoustique.

2.2 Perception auditive en milieu aérien

Cette partie a pour objectif d'expliquer brièvement le fonctionnement de l'oreille, ainsi que les facteurs de localisation. En effet, si les mécanismes des différentes parties des oreilles jouent un rôle dans la perception aérienne classique, ce n'est plus vraiment le cas sous l'eau.

2.2.1 Fonctionnement de l'oreille humaine

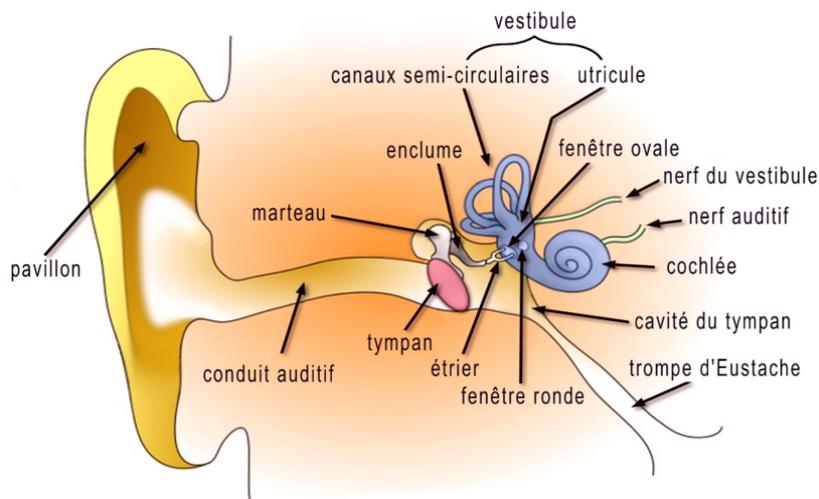


Fig.2: Schéma de l'oreille (d'après D. Pickard)

2.2.1.1 L'oreille externe

L'oreille externe est composée du pavillon (pinna) et du conduit auditif externe. Elle joue un rôle d'amplification pour certaines bandes de fréquences :

- La forme du pavillon permet d'amplifier un signal sonore de 10 à 15 dB vers 5 kHz.
- Le conduit auditif externe amplifie le signal de 15 à 20 dB vers 2 kHz.

2.2.1.2 L'oreille moyenne

L'oreille moyenne va du tympan à la fenêtrée ovale en passant par les osselets qui sont au nombre de trois: le marteau, l'enclume et l'étrier. Elle comprend aussi la trompe d'Eustache, qui permet de rétablir la même pression de part et d'autre du tympan grâce à sa communication avec le pharynx.

La chaîne des osselets est solidaire du tympan. La transmission est donc solidienne et elle joue le rôle d'adaptation d'impédance. Le rapport des surfaces entre le tympan et l'étrier est de 20 pour 1. Si l'on ajoute un effet de levier engendré par les osselets, la pression se retrouve multipliée par 26, soit une hausse de 30 dB environ. Cela nous donne la fonction de transfert suivante:

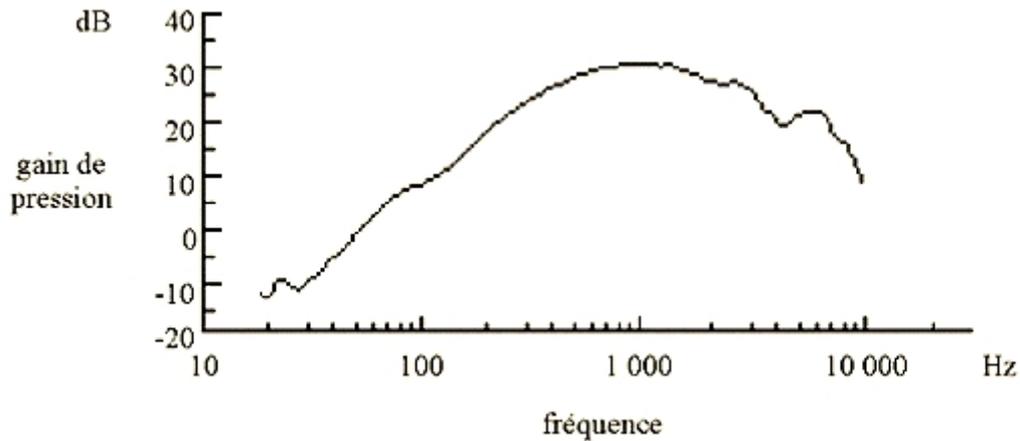


Fig.3: Fonction de transfert de l'oreille moyenne (Nedzelnsky 1980)

2.2.1.3 L'oreille interne

L'organe principal de l'oreille interne est la cochlée. C'est là qu'opère la transduction mécanique/électrique. Elle joue le rôle d'analyseur de spectre grâce à la membrane basilaire. Les fréquences s'étalent des aigus aux graves sur cette membrane à rigidité décroissante en forme d'escargot. Elles sont transmises à des cellules ciliées situées dans l'organe de Corti. Les influx nerveux sont ensuite envoyés au cerveau et sont traités dans le système auditif central.

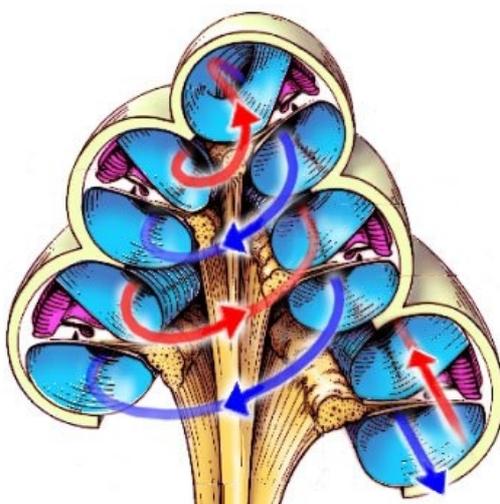


Fig 4: Cochlée (d'après R. Pujol)

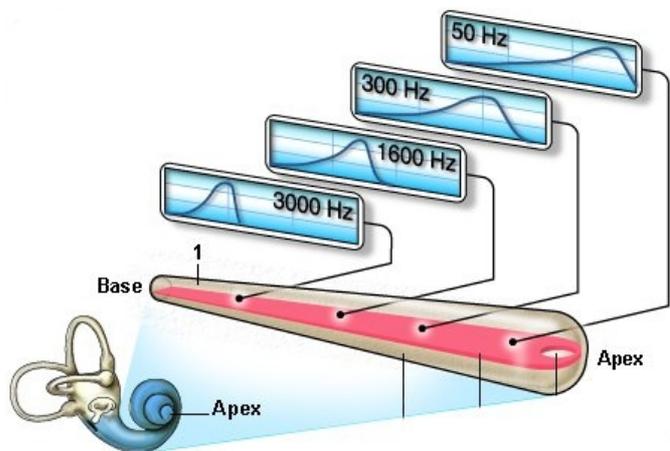


Fig.5: Membrane basilaire (d'après S. Blatrix)

2.2.2 Ecoute binaurale

2.2.2.1 Définition

L'écoute binaurale est la capacité de percevoir un stimulus sonore dans les deux oreilles. La localisation se fait par différence interaurale d'intensité (DII), et de temps ou de phase (DIT).

2.2.2.2 Différences interaurales de temps

Les différences interaurales dites de temps correspondent à une différence de temps d'arrivée, ce qui équivaut à une différence de phase. On trouvera donc dans la littérature les deux termes pour désigner les DIT.

La différence de temps d'arrivée peut être calculée pour une source provenant de l'infini (approximation valable pour une distance grande par rapport aux dimensions de la tête) de façon suivante:

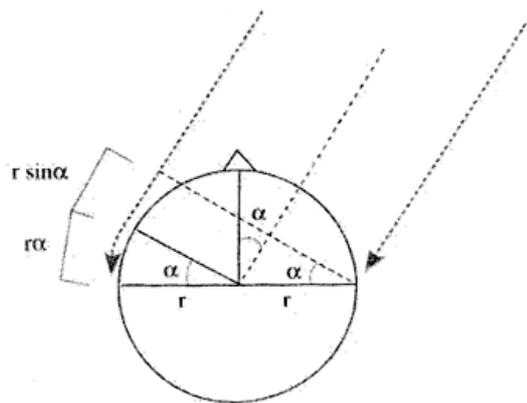


Fig.6: Calcul des DIT, modélisation de Woodworth

Dans la modélisation de Woodworth, la tête est modélisée par une sphère. La différence de temps d'arrivée de l'onde aux deux oreilles est :

$$\Delta t = \frac{\Delta d}{c} = \frac{r(\alpha + \sin \alpha)}{c}$$

La différence de phase permet de localiser si la longueur d'onde de l'onde incidente est grande devant la différence de marche Δd , c'est à dire pour les basses fréquences (jusqu'à 1,5 kHz).

2.2.2.3 Différences interaurales d'intensité

Les différences d'intensité (DII) se produisent car les ondes sonores sont partiellement diffractées par la tête, de telle sorte que le signal atteignant l'oreille opposée à la source est atténué. Ces différences sont donc propres à chaque individu, et on peut les mesurer en réalisant une fonction de transfert de l'oreille, appelée HRTF (Head-Related Transfer Function).

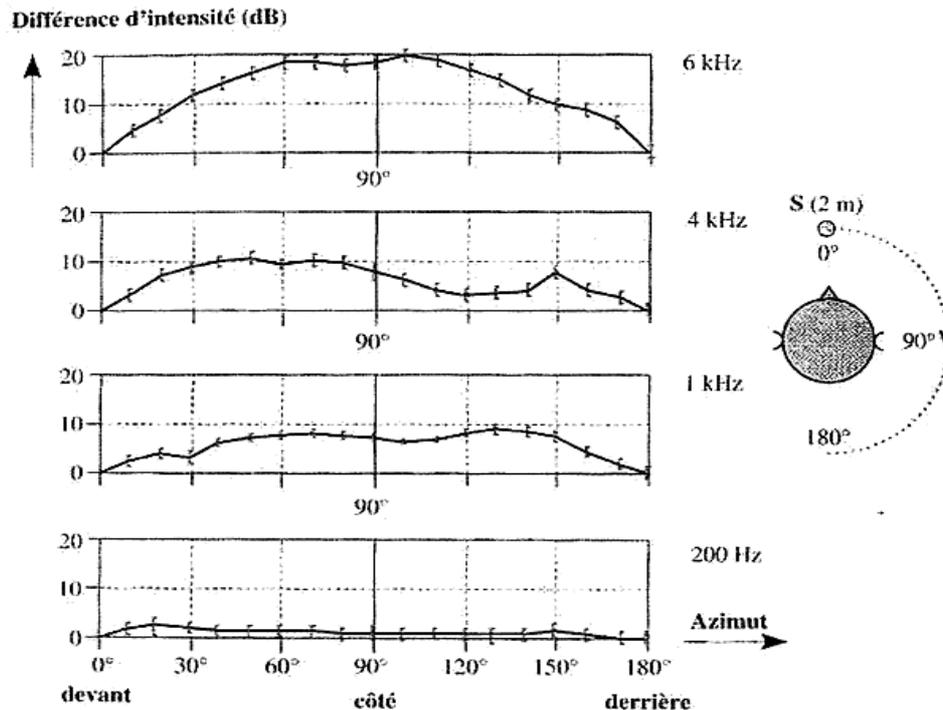


Fig.7: Evolution de la différence d'intensité en fonction de la position de la source sonore aux fréquences 200 Hz, 1 kHz, 4 kHz et 6 kHz (d'après Fedderson, Sandel, Teas et Jeffress)

Les aigus étant plus diffractés par la tête, les DII permettent donc de localiser plutôt les hautes fréquences à partir de 1,5 kHz. On peut ainsi définir des domaines fréquentiels de localisation qui privilégient l'une ou l'autre méthode:

$$DIT < 1,5 \text{ kHz} < DII$$

2.2.2.4 Localisation dans le plan azimutal

Dans le cas d'une écoute stéréophonique, quelque soit l'espacement des enceintes, celles-ci se trouvent dans le plan azimutal. Voici quelques expériences psychoacoustiques concernant la localisation dans le plan azimutal.

En 1796, Venturi met en évidence des confusions avant/arrière. En 1877, Raleygh note des confusions entre positions symétriques par rapport à l'axe des oreilles : cela crée des cônes de confusion dont l'axe de symétrie est celui des oreilles.

Le MAA (Minimal Audible Angle) a été étudié par Mills à partir de 1958 : il caractérise le pouvoir séparateur du système auditif dans le plan azimutal.

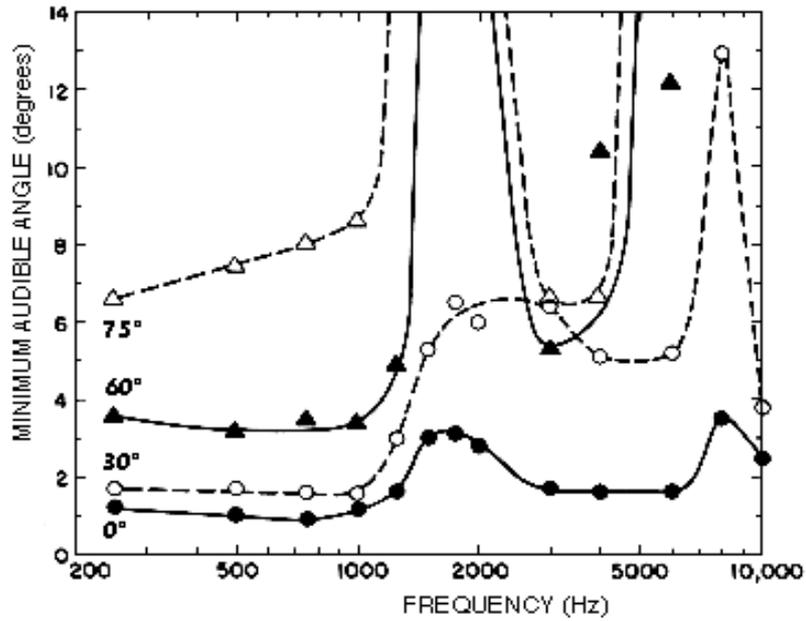


Fig.8: MAA pour des son purs à 0°, 30°, 60° et 75° (Mills, 1972)

L'oreille arrive à séparer des sons purs dans le plan azimutal espacés de 1 à 3 degrés pour une source frontale, et les performances se dégradent vers l'axe des oreilles (cône de confusion). Les performances se dégradent aussi vers 2 kHz (le son est toujours perçu à l'avant) et vers 8 kHz (le son est perçu en haut).

2.2.3 Indices monauraux

Les cavités pavillonnaires de l'oreille externe créent des réflexions et des résonances. Cela induit une amplification de certaines fréquences (cf § 2.2.1.1.).

La géométrie des pavillons implique également des réflexions du signal incident : une partie de ce signal est réfléchi vers le conduit auditif avec un certain retard. De ce fait, l'addition du signal primaire et de ces réflexions constitue un indice supplémentaire de localisation qui permet notamment de résoudre des ambiguïtés avant/arrière.

2.3 Perception auditive en milieu subaquatique

Sous l'eau, le mode de conduction des ondes sonores est totalement différent du milieu aérien ; cela va entraîner notamment des pertes de sensibilité (au sens des décibels), et des changements dans les mécanismes de localisation.

2.3.1 Mode de conduction

La forte impédance de l'eau ($Z_{eau}=1,5 \cdot 10^6 \text{ Pa.s.m}^{-1}$) est responsable de la perte des mécanismes de l'oreille externe et de l'oreille moyenne. L'énergie est alors transmise à l'oreille interne par conduction osseuse de la boîte crânienne.

2.3.1.1 Détérioration des mécanismes de l'oreille

A partir du milieu du XXe siècle, des travaux montrent l'inactivité des mécanismes de l'oreille (Sivian, 1947 , Hamilton, 1957). Trois raisons sont avancées:

1. $Z_{eau}=Z_{pavillon}$: les pavillons ne jouent plus leur rôle d'amplificateur.
2. Le canal auditif se trouve rempli d'un liquide ayant une vitesse de propagation importante. Cela provoquerait un raccourcissement du canal, et donc un abaissement des Δt .
3. L'onde qui arrive aux osselets n'est plus correctement transformée. Hollien (1973) explique cela de la façon suivante: dans l'air, le son se propage sous forme haute amplitude/faible force (Af), alors qu'en milieu liquide, c'est une propagation faible amplitude/haute force (aF). L'oreille moyenne opère dans l'air en convertissant la force du signal pour que celui-ci soit proche des propriétés du liquide cochléaire. Ainsi, les adaptations d'impédance impliquées dans l'audition aérienne sont du type $Af \rightarrow aF$. Mais si l'oreille est immergée, les transformations subies sont de type $aF \rightarrow Af \rightarrow aF$, à cause de la présence d'eau dans le canal en amont des osselets. L'oreille moyenne aurait une fonction de réduction d'énergie dans l'air qui ne pourrait pas être maintenu dans l'eau....

On pourrait aussi penser que c'est la transition eau/air (bulle d'air dans l'oreille) qui ne s'opèrerait pas, mais il se trouve qu'on entend aussi bien avec de l'eau jusqu'au tympan (Hollien & Brandt, 1969). L'expérience a aussi été menée lors de ce mémoire et elle invalide l'hypothèse de la transition eau/air.

2.3.1.2 Conduction osseuse et conduction du crâne

Notre squelette, et particulièrement notre crâne, rentrent en résonance aussi bien dans l'air que dans l'eau. L'énergie est transmise à l'oreille interne via l'os temporal (os pair du crâne situé au niveau de la tempe). Les basses fréquences notamment sont ressenties physiquement à fort niveau en aérien. Seulement, dans l'eau, les seuils de perception de l'oreille sont 30 à 50 dB plus élevés que les seuils de perception « crâniens », ce qui fait que la perception par conduction osseuse prend le dessus dans notre perception.

2.3.1.3 Conséquences sur la sensibilité auditive

Les seuils de sensibilité subaquatiques sont donc de 30 à 50 dB supérieurs aux seuils aériens. La perte de l'amplification par le pavillon et le conduit auditif mettent donc la perception « crânienne » au même niveau que la perception par les oreilles (cf expériences oreilles bouchées/débouchées § 4.6.4). Ces seuils montent encore lorsque le crâne est recouvert d'une capuche, et ils augmentent aussi en fonction de la profondeur.

Le seuil de la douleur sous l'eau est d'environ 160 dB, mais il faut être prudent en pratique car on ne sait pas à quel point des vibrations puissantes (de basses fréquences notamment) peuvent avoir un impact sur le crâne.

2.3.2 Mécanismes de localisation

Les rares études consacrées à la localisation auditive subaquatique ont abordé le sujet à partir d'une estimation théorique de la taille des indices spatiaux, en prenant en compte la célérité et l'impédance de l'eau. D'après cette estimation, les propriétés acoustiques de l'eau causent une telle dégradation des indices de localisation que les auditeurs immergés devraient être incapables de localiser des sources.

Néanmoins, des études récentes ont montré que des plongeurs arrivaient à localiser de façon convenable et bien supérieure au hasard (S. Savel, 2001; F. Bernaschina, 2003), ce qui permet d'aborder les tests à venir avec un certain optimisme.

2.3.2.1 Différences interaurales de temps

La célérité dans l'eau étant de 1500 mètres par seconde, les différences interaurales de temps (DIT) sont divisées par 4,5. Il faut rajouter à cela le fait que la distance à prendre en compte n'est plus la distance interaurale (environ 18 cm) mais la distance inter-cochléaire (10 cm) et qu'il n'y a plus de contournement du crâne puisque les ondes traversent le cerveau, soit un rapport 9 entre les DIT aériennes et subaquatiques.

Pour une onde arrivant avec une incidence θ par rapport à l'axe de la tête, la différence inter-cochléaire de temps est donc donnée par:

$$\Delta t = \frac{d_{coch}}{c} \sin \theta \quad (\text{Fenstein})$$

Voici une courbe qui compare le modèle aérien et le modèle subaquatique:

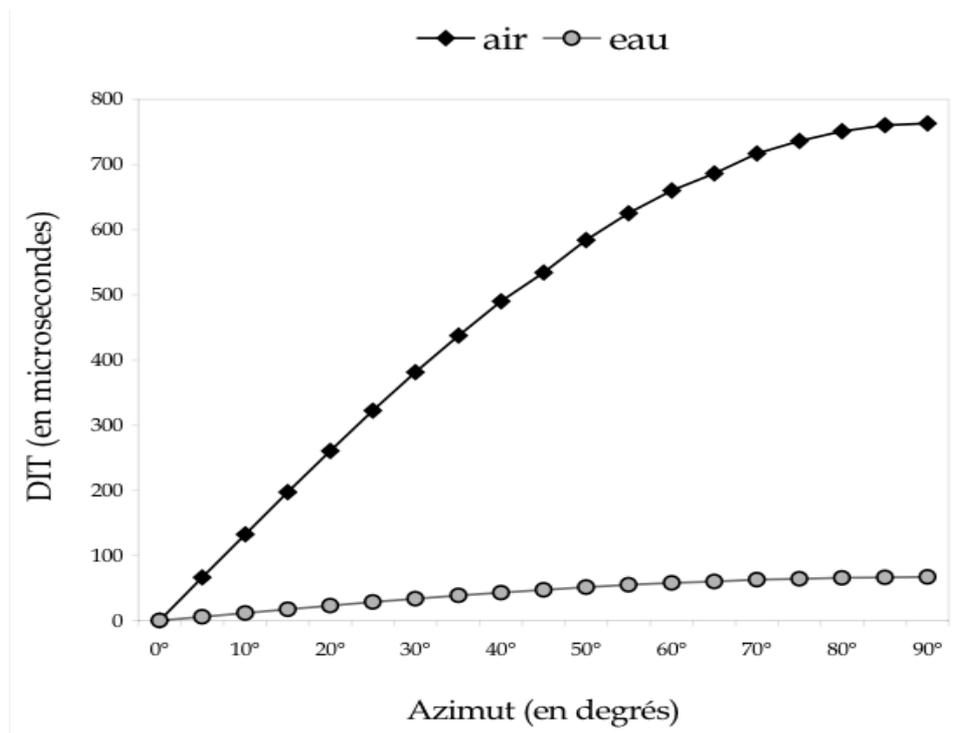


Fig.9: Comparaison des DIT aériennes et subaquatiques (Savel, 2001)

Les DIT subaquatiques sont largement inférieures aux DIT aériennes. On retrouve le rapport 9 entre les mesures sous l'eau et hors de l'eau pour un même azimut.

2.3.2.2 Différences interaurales d'intensité

La tête étant « transparente » sous l'eau, il ne peut théoriquement pas y avoir de différence interaurale d'intensité. Cela supposerait, si l'on prend en compte uniquement la perception « crânienne », qu'on localiserait uniquement grâce aux DIT, c'est à dire que les basses fréquences seraient localisables, mais pas les aigus. Mais on ne peut pas affirmer que la perception par les oreilles ne fonctionne plus. Si les oreilles jouent encore un rôle, il se peut que les DII existent encore.

2.3.2.3 Localisation dans le plan azimutal

Une des hypothèses serait que les DIT sont perçues comme dans le milieu aérien et qu'un angle réel serait diminué d'un rapport 5 à 10. Ce qui veut dire qu'une base stéréophonique classique de 60° serait ramenée à 10° environ. Il faudrait donc se mettre quasiment entre les enceintes pour pouvoir localiser sous l'eau.

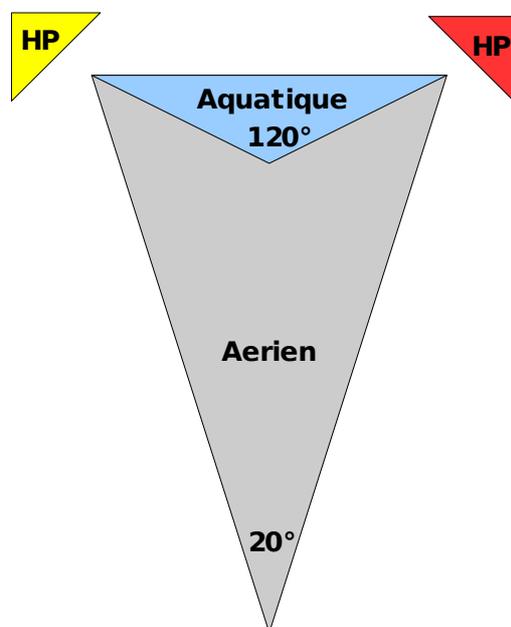


Fig.10: Angle subaquatique de 120° perçu comme un angle de 20° en aérien

Quoi-qu'il en soit, Feinstein a montré que l'angle minimum audible (MAA) subaquatique était en moyenne de 15° dans l'axe frontal pour des sons sinusoïdaux, et que les performances pouvaient augmenter et atteindre 10° pour des sons complexes et des sinus basse fréquence (Feinstein, 1973)

Sophie Savel a réalisé des tests en 2001 sur la localisation dans le plan azimutal (Savel, 2001). Les plongeurs étaient assis dans une nacelle à 3 mètres de profondeur en Mer Méditerranée et ils étaient entourés de 8 haut-parleurs répartis régulièrement sur le plan azimutal (0°, 45°, 90°, 135°, 180°, -45°, -90°, -135°). Elle a notamment déduit de ses expériences que les oreilles contribuaient à améliorer la localisation, même si elles n'amplifiaient pas les signaux. L'oreille joue donc encore un rôle dans la perception. Il est donc recommandé de faire des expériences avec les oreilles dégagées. De plus, des mouvements de tête augmentaient de manière significative le pourcentage de bonnes réponses et levaient l'ambiguïté avant/arrière.

2.4 Ecoute musicale en petit bassin, contribution acoustique du bassin

2.4.1 Etat de la recherche

La recherche concernant l'audition dans un bassin rempli d'eau est inexistante, et il est très difficile de prévoir à priori comment va se comporter un tel bassin. Les recherches psychoacoustiques ne portant que sur des expériences en champ libre, à notre connaissance, aucune recherche rendue publique n'a été menée à ce jour sur le sujet.

Les commentaires susceptibles de pouvoir nous aider sont ceux des personnes qui pratiquent régulièrement des écoutes subaquatiques. Le compositeur Michel Redolfi explique que pour lui, les premières réflexions sont masquées car elles nous reviennent avant 50 ms (effet Haas), et que cela donne une impression de champ direct. Les mélomanes subaquatiques parlent de son précis et intracrânien, ce qui correspond plutôt à une acoustique sèche.

2.4.2 Eléments d'acoustique des salles

Voici quelques formules fondamentales d'acoustique des salles. Le tableau suivant donne deux résultats selon l'approche de Sabine ou d'Eyring.

(α : coefficient d'absorption, S : surface, S_t : surface totale, V : volume)

| | Sabine | Eyring |
|-------------------------------------|--|---|
| Hypothèses | Champ réverbéré homogène | |
| Aire d'absorption (m ²) | $A = \sum_i \alpha_i S_i$ | |
| Coefficient d'absorption moyen | $\bar{\alpha} = \frac{A}{S_t} = \frac{\sum_i \alpha_i S_i}{S_t}$ | |
| Temps de réverbération (s) | $TR = 0,16 \frac{V}{A}$ | $TR = \frac{0,16 V}{-S_t \ln(1 - \bar{\alpha})}$ |
| Conditions de validité | - Absorption faible: $\bar{\alpha} < 0,2$ - $f > f_c$ <i>Schroeder</i> | - Absorption quelconque - $f > f_c$ <i>Schroeder</i> |
| Fréquence de Schroeder | $f_c = 2000 \sqrt{\frac{TR}{V}}$ | |

2.4.3 Adaptation au milieu subaquatique

En suivant la même démarche qu'en aérien, il est possible de déterminer par l'expérience des coefficients d'absorption pour les parois du bassin. En tenant compte de la nouvelle célérité, la formule d'Eyring deviendrait:

$$TR = \frac{0,036 V}{-S_i \ln(1 - \bar{\alpha})}$$

et ce, seulement au dessus de la fréquence de Schroeder qui augmenterait. C'est donc une démarche hasardeuse.

Une certitude cependant est que l'échange à la surface est quasiment nul car l'impédance de l'eau est beaucoup plus élevée que celle de l'air. Toutes les ondes sont donc réfléchies à la surface (facteur de transmission : 0,005). Il existe donc une quantité non négligeable de premières réflexions dans un bassin. De plus, une musique diffusée sous l'eau n'est presque pas audible de l'extérieur, et cela peut être intéressant car un milieu isolé est alors créé.

Lors d'une écoute réalisée dans le SPA musical proposé par Aqua Musique en novembre 2007, j'ai pu constater la présence de nombreux modes propres. Il peuvent être dus aux dimensions restreintes du SPA, mais aussi à des phénomènes plus complexes de vibration mécanique du fait de l'incompressibilité de l'eau.



Fig.11: SPA Musical – Aqua Musique

Il semble donc prudent d'attendre les commentaires des tests avant d'avancer des théories sur le champ acoustique sous l'eau.

3 Problématique et cadre expérimental

Cette partie traite de la méthodologie qui a conduit à l'élaboration des tests à partir de la problématique du mémoire, et des aspects pratiques nécessaires au bon déroulement de ces tests.

3.1 Problématique

3.1.1 Ecoute musicale en bassin

La problématique principale de ce mémoire, comme elle a été mentionnée dans l'introduction, est de travailler sur une écoute la plus représentative possible d'une écoute domestique : piscine privée ou baignoire. C'est seulement dans le cadre d'une écoute confortable avec un auditeur plutôt statique qu'une écoute musicale peut être étudiée et optimisée. Dans l'optique d'expériences avec un nombre suffisant de sujets, le lieu idéal est un petit bassin de piscine municipale (6 mètres par 12 généralement).

3.1.2 Ecoute stéréophonique

Même s'il s'agit avant tout de faire une étude sur la perception subaquatique au sens large, à commencer par des questions concernant le ressenti physique et la restitution musicale, la question de la localisation est majeure. Il existe à l'heure actuelle une véritable contradiction entre les études scientifiques qui affirment qu'il est possible de localiser sous l'eau et les personnes qui ont l'habitude d'écouter sous l'eau et qui soutiennent que l'écoute est monophonique. Il semblait donc intéressant de faire quelques expériences sur ce sujet.

Pour le format de diffusion, la stéréo a été choisie pour plusieurs raisons. Tout d'abord il est très difficile de placer un système multicanal dans une piscine. De plus les résultats positifs n'étant même pas garantis pour une simple écoute stéréophonique, il serait hasardeux de s'attaquer au multicanal. Enfin, c'est le format le plus employé et qui offre le plus large choix d'enregistrements à diffuser.

3.1.3 Sur une comparaison avec l'écoute aérienne

La problématique d'une comparaison avec un système stéréophonique hors de l'eau, la ne sera pas abordée. En effet, la perception subaquatique est trop différente de la perception traditionnelle.

Plutôt que de comparer avec le milieu aérien, il s'agit d'optimiser une écoute sous l'eau en partant du ressenti des participants et de chercher à valider un système stéréophonique nouveau.

3.2 Partenariat avec Aqua Musique

3.2.1 Domaine d'activité

Aqua Musique est une société franco-espagnole qui développe des haut-parleurs subaquatiques. Elle est fournisseur officiel de l'équipe de France de natation synchronisée, et elle a équipé plus de 15 000 piscines. Elle développe aussi des accessoires pour l'écoute subaquatique comme des nattes de flottaison.

Récemment, cette société est rentrée dans une ère nouvelle avec la naissance du SPA musical, une baignoire spécialement dédiée à l'écoute subaquatique (fig 11).

3.2.2 Les haut-parleurs H062m

Ces haut-parleurs sont la version mobile d'Aqua Musique (voir fiche technique en annexe 7.1.2). Les courbes de réponses sont disponibles en annexe 7.1.2. Le système est le même que pour un haut-parleur classique, avec une membrane fixée sur une bobine mobile. L'ensemble est moulé dans un matériau plastique étanche. Un boîtier fusible de 2 ampères (bleu foncé sur la photo) placé à l'extrémité du câble isole les parties sous tension de l'installation (amplificateur) de l'eau afin d'éviter l'électrocution.



Fig. 12: Haut-parleur subaquatique H062m

Deux haut-parleurs ont été utilisés pour les expériences (un jaune et un rouge).

3.2.3 Les attitudes d'écoute

L'aide d'Aqua Musique a été précieuse pour ce qui est des attitudes d'écoute. En effet, il y a plusieurs façons d'écouter sous l'eau. Le rendu n'est pas le même en fonction de la position de l'auditeur. On peut aussi bien écouter sur le dos en faisant la planche, sur la ventre à la surface, sur le ventre au fond du bassin, assis au fond du bassin. Cela dépend aussi des appréhensions de chacun.

Pour cela, outre les masques et les tubas prêtés par la piscine, Aqua Musique a mis à disposition des nattes de flottaison qui permettent une écoute en surface, sur le dos, particulièrement adaptée pour ceux qui se sentent moins à l'aise dans l'eau, ou qui ne souhaitent pas rester en apnée.



Fig. 13: Natte de flottaison

3.3 La Piscine Mathis

C'est dans le petit bassin de la piscine Mathis, 15 rue Mathis dans le XIX^e arrondissement de Paris, que se sont déroulés les tests.

Ce bassin fait 6 mètres de large, 12 mètres de long, et le fond est incliné dans le sens de la longueur. La pente est d'inclinaison régulière. La profondeur est de 55 cm d'un côté et de 1m30 de l'autre. Des marches permettent de rentrer dans l'eau à l'endroit où l'eau est à 55cm. Cela représente un volume de 66,6 m³ et une surface totale de 128 m² de parois (200 m² en comptant la surface de l'eau).

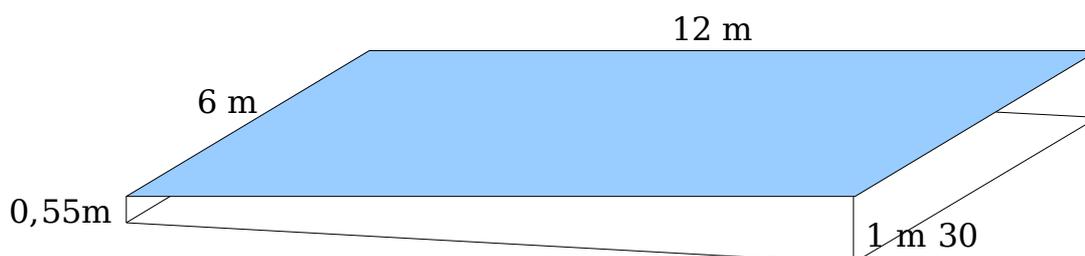


Fig. 14: Schéma du petit bassin de la piscine Mathis



Fig. 15: Séance du 22 février

3.3.1 Choix de la piscine

Il fallait avant tout rechercher une piscine avec un petit bassin qui simule le mieux possible une piscine privée. Le choix a été motivé par la proximité avec le Conservatoire National Supérieur de Musique de Paris d'où venaient une grande partie des participants. La piscine Mathis (Métro Crimée) répondait à ces critères. La profondeur d'eau limitée était un atout dans le sens où les participants n'avaient pas à faire d'effort pour flotter et pouvaient se consacrer pleinement à l'écoute.

De plus le petit bassin se trouvait tout près de locaux pouvant être utilisés (infirmerie, vestiaire pour handicapés), ce qui a permis d'installer une mini-régie à l'abri des éclaboussures et des jets d'eau intempestifs provoqués par certains utilisateurs de tubas...

3.3.2 Les séances de tests

Sachant que de nouvelles questions allaient arriver au fur et à mesure des expériences, il a été décidé de faire une première série de tests comprenant des mesures physiques du bassin ainsi qu'un premier questionnaire afin de donner des pistes de recherches pour la suite. Après observation des résultats de ce premier test, une deuxième série a été programmée avec des nouveaux points à étudier.

Il a été très compliqué d'arriver à trouver des créneaux horaires pour faire les tests. Entre les horaires d'ouverture au public, les plages réservées aux scolaires, et celles réservées aux clubs, nous avons réussi à dégager des créneaux aux dates suivantes :

| | <i>Date</i> | <i>Horaires</i> | <i>Motif</i> |
|-------------------------|---------------------|------------------------|---------------------------------------|
| Premier test | Vendredi 22 février | 13h-16h | Mesures physiques & 1er questionnaire |
| Deuxième série de tests | Jeudi 13 mars | 14h-16h | 2ème questionnaire |
| | Vendredi 14 mars | 14h-16h | |
| | Jeudi 20 mars | 14h-16h | 3ème questionnaire |
| | Vendredi 21 mars | 14h-16h | 4ème questionnaire |

3.4 Déroulement des tests

3.4.1 Description des tests

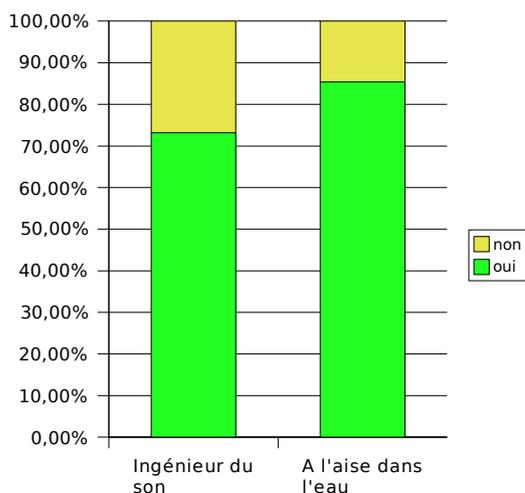
Il a été convenu que la durée des tests serait d'une heure. Les sujets peuvent difficilement rester statiques dans l'eau plus longtemps sans ressentir le froid.

Il fallait ensuite trouver un moyen de faire remplir à chaque participant un questionnaire à chaud. Les données auraient été moins précises si le questionnaire avait été rempli après la séance. Les séances ont donc été découpées en quatre parties de 15 min environ. Pendant 10 min, les participants faisaient des écoutes dans le bassin, ensuite ils avaient 5 min pour répondre aux questions de la dernière partie  coute e (les questionnaires étaient répartis sur le bord de la piscine à proximité des serviettes pour éviter les flaques et laisser le questionnaire à peu près lisible).

3.4.2 Sujets

Durant cette série de tests, 41 questionnaires ont été remplis, 6 personnes étant passées aux deux séries, cela représente 35 individus âgés de 19 à 43 ans. Les sujets possèdent pour la plupart une formation musicale de haut niveau et/ou une formation d'ingénieur du son.

Il était demandé à chaque participant en début de questionnaire s'il était ingénieur du son ou en formation, et s'il appréhendait un peu le milieu ou s'il se sentait comme un poisson dans l'eau.



| | <i>oui</i> | <i>non</i> |
|---------------------|-------------------|-------------------|
| Ingénieur du son | 30 | 11 |
| A l'aise dans l'eau | 35 | 6 |

3.4.3 Contenu du premier questionnaire

Les questionnaires sont disponibles dans leur intégralité en annexe (cf § 7.3).

Une attention particulière a été apportée à la formulation des questions dans les questionnaires. Les questions sont ouvertes, posées de façon la plus objective possible, afin que les sujets soient libres de répondre comme ils l'entendent, avec leur propre vocabulaire.

Les principaux thèmes sont abordés ici afin d'avoir une vision globale des expériences, et de voir l'évolution d'un questionnaire à l'autre. (Les nouveautés par rapport aux questionnaires précédents et les parties inchangées sont en couleur).

| | <i>Vendredi 22 Février (11 participants)</i> |
|-------------|--|
| 1ère partie | Ressenti physique/ Rendu spectral/ Position d'écoute |
| 2ème partie | Acoustique du bassin/ Point d'écoute |
| 3ème partie | 1er test de localisation: écoute frontale, avec des extraits simples |

3.4.4 Contenu du deuxième questionnaire

| | <i>Jeudi 13 Mars & Vendredi 14 Mars (13 participants)</i> |
|-------------|--|
| 1ère partie | Ressenti physique/ Rendu spectral |
| 2ème partie | Homogénéité du bassin/ Placement des enceintes |
| 3ème partie | Dynamique/ Compression |
| 4ème partie | Etude localisation dans le plan des enceintes |

On notera pour la suite que la première partie est quasiment inchangée. En effet, l'expérience étant nouvelle pour beaucoup, il est nécessaire de passer par une phase de découverte et de familiarisation.

3.4.5 Contenu du troisième questionnaire

| | <i>Jeudi 20 Mars (6 participants)</i> |
|-------------|--|
| 1ère partie | Ressenti physique/ Rendu spectral |
| 2ème partie | Homogénéité du bassin/ Placement des enceintes |
| 3ème partie | Dynamique/ Compression |
| 4ème partie | Etude localisation + comparaison mono/stéréo |

On peut voir que l'étude sur la localisation est améliorée

3.4.6 Contenu du quatrième questionnaire

| | <i>Vendredi 21 Mars (11 participants)</i> |
|-------------|--|
| 1ère partie | Ressenti physique/ Rendu spectral |
| 2ème partie | Homogénéité du bassin/ Placement des enceintes |
| 3ème partie | Etude localisation + comparaison mono/stéréo |
| 4ème partie | Position d'écoute optimale |

Dans ce quatrième questionnaire, la partie sur la dynamique est abandonnée. L'étude sur la localisation est encore améliorée et elle intègre maintenant une nouvelle partie sur la position d'écoute optimale.

4 Expérimentation

Les mesures réalisées à l'aide de l'hydrophone lors de la première séance ont permis de caractériser l'acoustique du bassin. Les résultats sont exposés au point suivant. Les tests perceptifs sont ensuite résumés et analysés. La totalité des réponses des sujets est disponible en annexe.

4.1 Mesures physiques

4.1.1 Description du matériel de mesure

Lors de la première séance d'expérimentation, quelques mesures ont pu être menées afin de mesurer l'acoustique du bassin et les caractéristiques des haut-parleurs. Ces mesures ont été faites à l'aide de sinus glissants de 30 secondes (générés à l'aide du logiciel Altiverb), et de bruit blanc (généré sur le logiciel Pyramix).

Le matériel utilisé est le suivant:

- Hydrophone DPA 8011 (cf fiche technique § 7.1.1)
- Interface Presonus Firepod
- Portable PC équipé de Pyramix
- Lecteur CD Yamaha CDX-397
- Ampli Hi-Fi Sony STR-DE-197
- Haut-parleurs Aquamusique H062m (cf annexe § 7.1.2)

Hydrophone
Type 8011

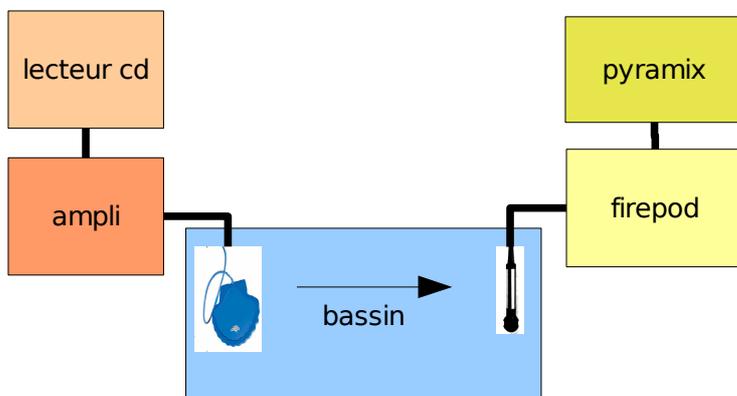


Fig. 16: Schéma et photo du dispositif

Si l'on cherche à déterminer les « facteurs limitants » de la chaîne audio en termes de qualité, ce sont sans aucun doute les haut-parleurs. Il était donc inutile de chercher à utiliser le matériel le plus performant possible. L'utilisation de matériel Hi-Fi se rapproche d'ailleurs d'une écoute domestique telle qu'on peut la retrouver sur des installations de ce genre. L'hydrophone qui captait le signal étant omnidirectionnel, il était positionné la tête en bas et attaché sur des « frites » en mousse. Il pouvait donc être déplacé à loisir.

4.1.2 Résultats

La remarquable linéarité de la réponse en fréquence de l'hydrophone (voir annexe 7.1.1) permet de n'imputer les résultats qu'aux haut-parleurs et au bassin.

4.1.2.1 Mesures à 1 mètre

La première mesure réalisée est celle d'un sweep de 30s à un mètre et avec un seul haut-parleur. Cela permet d'obtenir le champ acoustique généré par le couple enceinte/acoustique du bassin. Une analyse spectrale réalisée sur Wavelab permet de le visualiser, et permet aussi de comparer les résultats obtenus en fonction des deux méthodes (les fichiers audio ont été calibrés grâce à une impulsion avant chaque sweep).



Fig. 17: FFT du sweep dans le bassin à 1 m.

Cette transformée de Fourier montre un spectre audible très « chaotique ». On note deux bosses de fréquences très marquées vers 120 Hz et entre 400 et 700 Hz. L'hydrophone était positionné à 50 cm de la surface. Cette courbe correspond à ce qu'ont ressenti certains sujets, en particulier à la surface (voir parties suivantes). Elles sont probablement dues à des modes de résonance du bassin (cf § 4.7), d'autant plus que ces bosses n'apparaissent pas sur les courbes de réponses mesurées en annexe (cf §7.1.2.3).

On peut noter aussi que le bruit de fond est assez élevé dans une piscine municipale (en dessous de 20 Hz, il s'agit uniquement de bruit de fond). Il est du à la filtration du bassin que nous n'avons pu stopper.

L'amplificateur délivrant une puissance telle de le haut-parleur soit proche de la saturation, on en déduit que la dynamique disponible avec le matériel d'expérimentation se limite à 35/40 dB.

Cette courbe est à comparer avec la FFT du sweep émis:

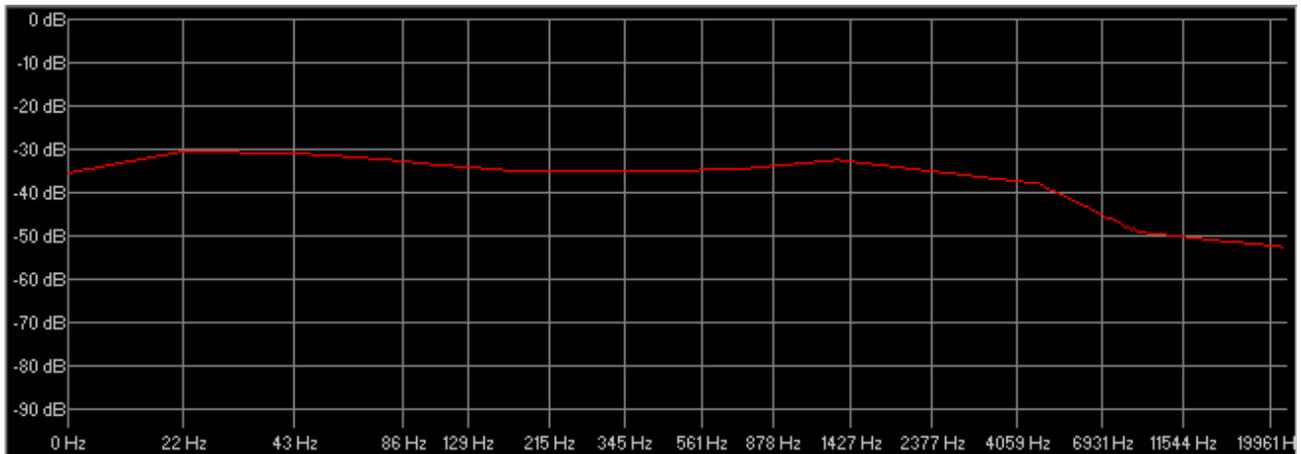


Fig.18: FFT du sweep original généré par Altiverb

La courbe théorique devrait être plate puisque qu'un sinus glissant est sensé balayer le spectre de manière uniforme. Or, on voit qu'il existe notamment une atténuation dans les aigus..., contrairement à la Transformée de Fourier d'un bruit blanc comme le montre la courbe ci-dessous:

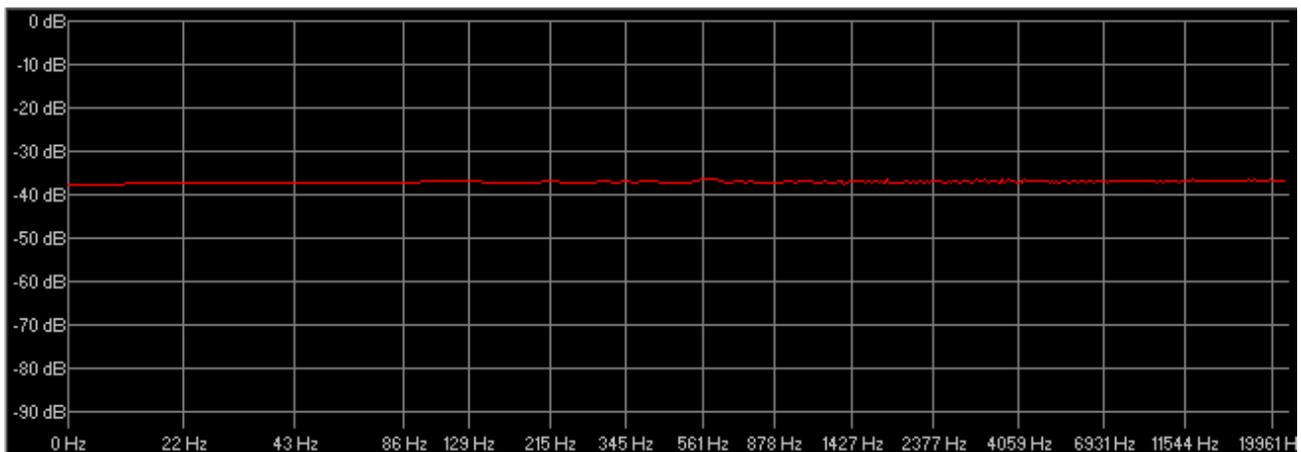


Fig. 19: FFT du bruit blanc généré par Pyramix

Voici une comparaison de la mesure du bassin avec le sweep d'une part, et avec le bruit blanc d'autre part.

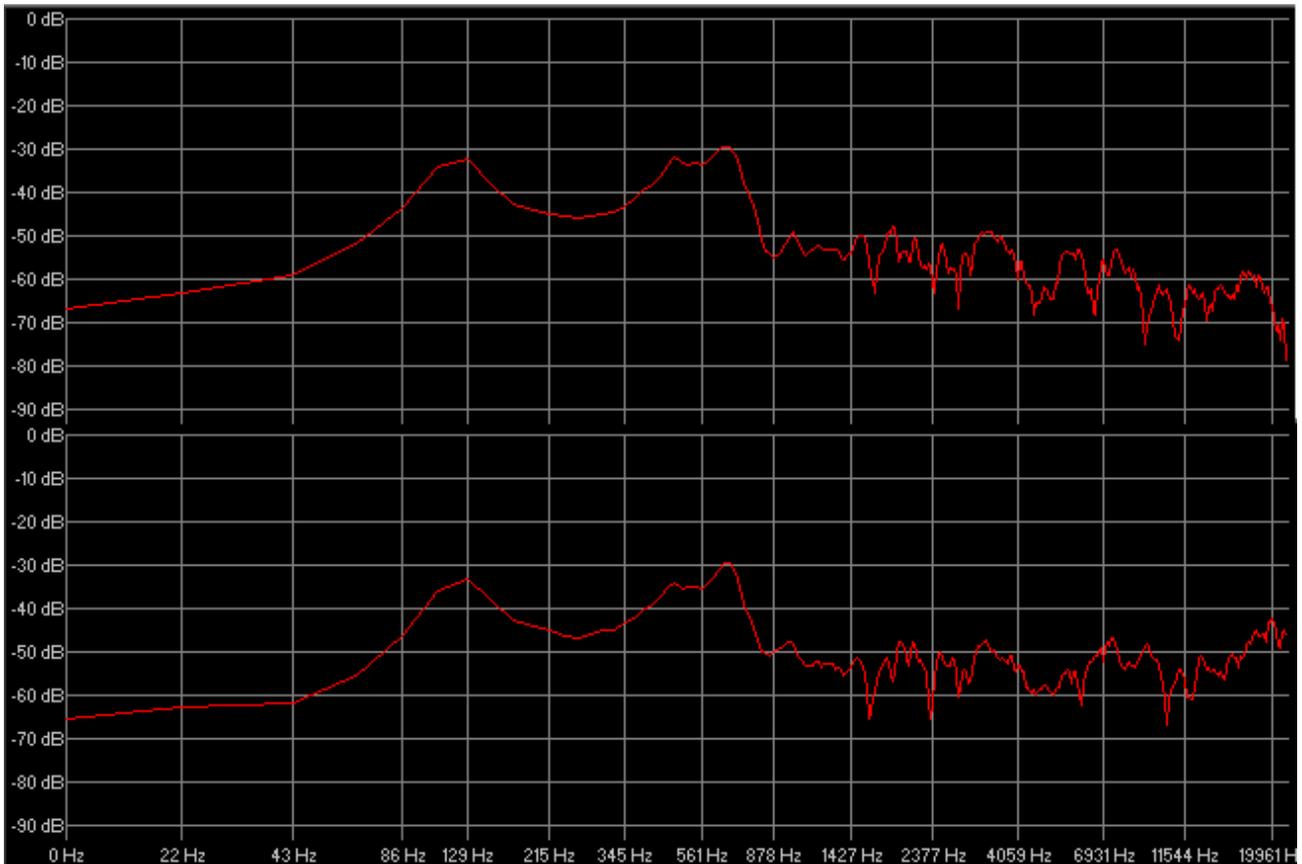


Fig. 20: Comparaison du sweep (en haut) et du bruit blanc (en bas) à 1 m

On remarque que les deux courbes sont assez ressemblantes si ce n'est qu'on observe une bosse dans le haut du spectre avec le bruit blanc. Cela peut être dû à deux facteurs:

- Le sweep avait une baisse dans les hautes fréquences: on le retrouve ici.
- Le niveau de diffusion ayant été calibré pour le sweep, le bruit blanc a probablement fait saturer le haut-parleur. Le spectre instantané d'un bruit blanc étant large bande, la puissance efficace est plus élevée à niveau de diffusion égal.

4.1.2.2 Mesures à 8 m

Par comparaison avec le milieu aérien, ce point de mesure est situé dans le champ réverbéré. Il devrait donc permettre de juger de la contribution réelle du bassin.

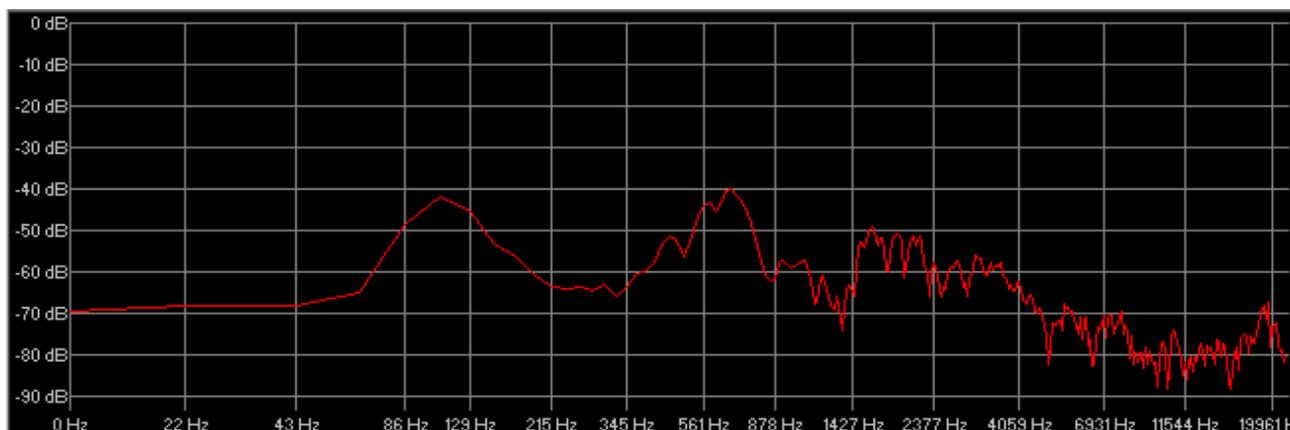


Fig. 21: Sweep dans le bassin à 8 m

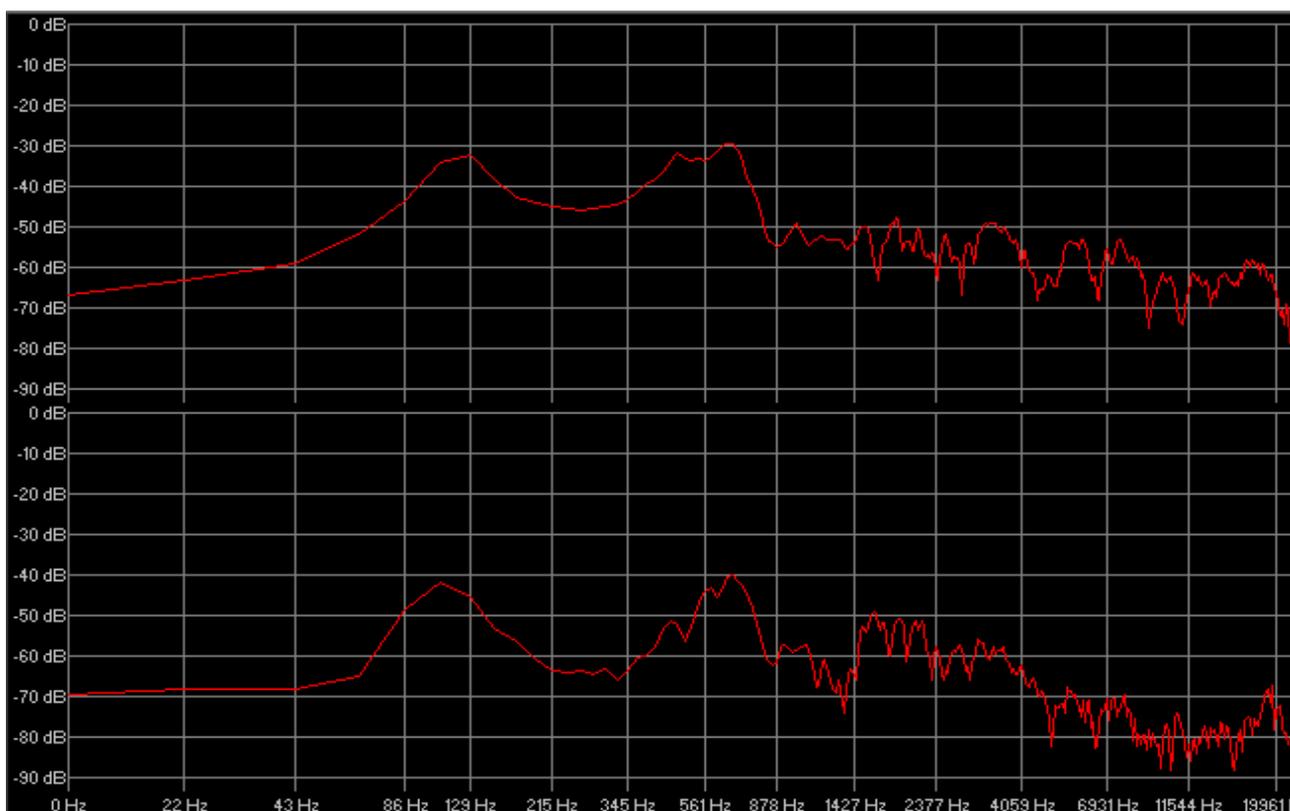


Fig. 22: Comparaison du sweep à 1 m (en haut) et du sweep à 8 m (en bas)

Les courbes permettent difficilement de tirer une conclusion. Elles sont en effet très ressemblantes, et la légère hausse entre 1,5 kHz et 2,5 kHz est probablement due à la présence de clapotis sur la fin de la mesure. Le peu de différence indique néanmoins qu'on a bien 2 modes de résonance du bassin.

4.1.2.3 Mesures dans une baignoire

Le champ acoustique a aussi été mesuré dans une baignoire. Il s'agit d'une baignoire classique, qui est posée sur des pieds (elle n'est donc pas moulée).



Fig. 23: Mesures dans une baignoire



Fig. 24: Sweep dans la baignoire

L'analyse spectrale du sweep obtenu montre la très grande « activité vibratoire » de la baignoire. Lors de l'expérience, le sweep était audible aussi fort dans l'eau que hors de l'eau. Il y a deux grands pics vers 100 Hz et vers 4 kHz. En effet, lors des écoutes en baignoire réalisées en marge des expériences à la piscine Mathis, nous avons pu nous rendre compte de l'aspect très « creusé » du spectre, avec beaucoup de basses, peu de médiums, et beaucoup d'aigus (4 kHz-10 kHz).

4.1.2.4 Implémentation dans l'altiverb

Des réponses impulsionnelles (IR) du bassin ont été déterminées à partir des différents sweeps diffusés dans le bassin. Elles ont été obtenues par déconvolution (il s'agit en fait d'une nouvelle convolution du sweep original avec celui enregistré dans le bassin).

Cinq réponses impulsionnelles ont été implémentées (en mode mono to mono):

- A 1 mètre dans l'axe du haut-parleur
- A 1 mètre à 45° par rapport à l'axe du haut-parleur
- A 1 mètre à 90° par rapport à l'axe du haut-parleur
- A 8 mètres dans l'axe des hauts parleurs
- Dans une baignoire classique

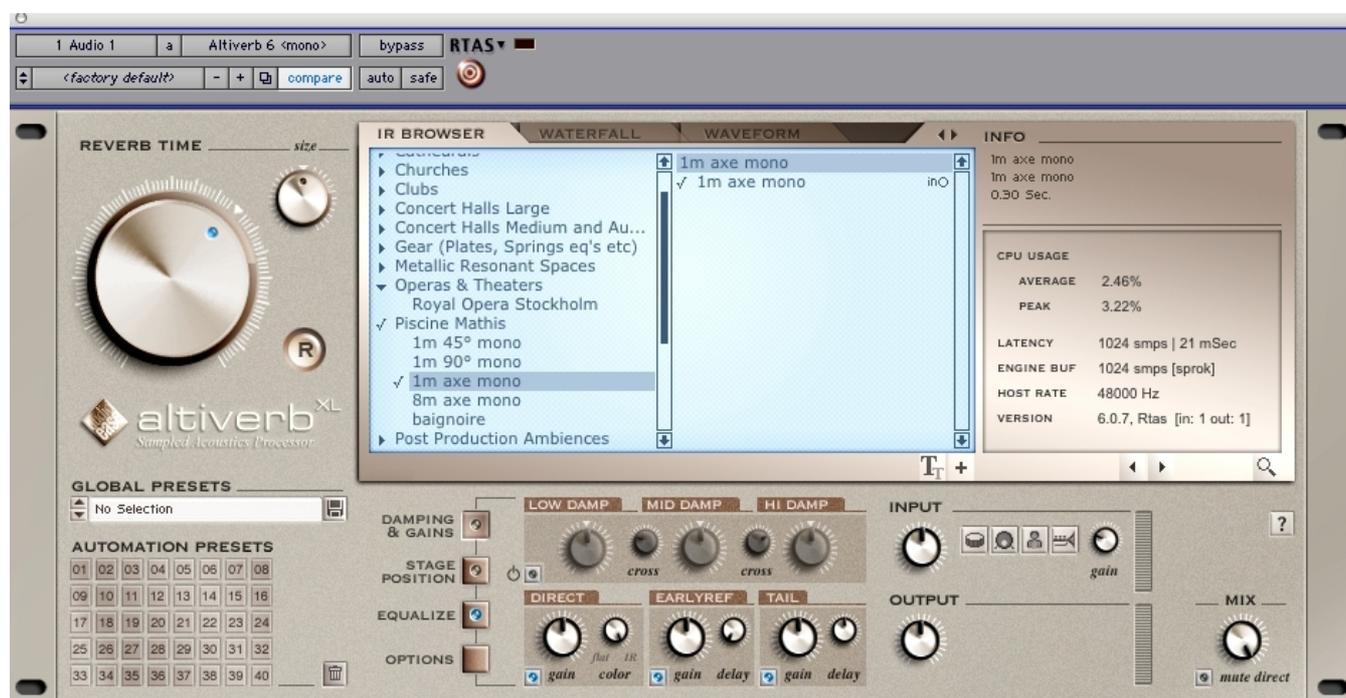


Fig. 25: Implémentation des IR dans l'Altiverb

Cela donne une bonne idée du résultat. Même si le mode de perception n'est plus le même, on ressent quand même le resserrement du spectre qui était caractéristique sous l'eau. Les haut-parleurs semblent assez peu directifs, on perçoit une néanmoins une légère perte dans les aigus à 45° et à 90°. A 8 mètres, même s'il y a quelques modifications, on garde en effet l'impression d'être dans un champ direct des enceintes, enfin dans la baignoire, le déséquilibre spectral est flagrant. Les bosses de résonance sont très prononcées, mais le rendu garde toujours l'aspect « aquatique » perçu dans la piscine Mathis.

4.2 Introduction aux tests perceptifs

Comme certains points ont été abordés lors de plusieurs séances, voici un tableau récapitulatif des différents points étudiés ainsi que du nombre de personnes qui y ont répondu:

| <i>Points étudiés</i> | <i>Nb de sujets</i> |
|---|----------------------|
| Ressenti physique | 40 |
| Rendu musical et spectral et dynamique <ul style="list-style-type: none">● rendu musical● rendu spectral● rendu dynamique | 40 40 13 |
| Contribution du bassin <ul style="list-style-type: none">● acoustique du bassin● homogénéité du bassin | 11 28 |
| Localisation <ul style="list-style-type: none">● localisation frontale● localisation dans les plan des enceintes dont comparaison mono/stéréo● point d'écoute | 11 28 15 11 |

Les expériences sont regroupées par thème, sans tenir compte de l'ordre chronologique des séances de tests. Les points étudiés sont néanmoins exposés dans le même ordre que celui utilisé dans chaque questionnaire.

4.3 Ressenti physique

Cette première question (la toute première du questionnaire) est très importante car elle concerne le premier ressenti des participants après avoir écouté plusieurs extraits de styles différents. Il leur était demandé de réfléchir plus spécialement au ressenti physique mais aussi de donner leurs impressions générales. De ce fait, certains éléments relatifs aux questions ultérieures sont déjà donnés. Les aspects spectraux sont vus dans la partie suivante (partie 4.4).

4.3.1 Analyse

Pour ce test, les auditeurs pouvaient se déplacer à loisir dans le bassin et essayer différentes attitudes d'écoute. Les descriptions du ressenti permettent d'accéder à une représentation mentale des sujets et à leur façon d'aborder l'expérience. Elles ont été retranscrites dans le tableau suivant telles que les 41 participants les ont notées dans le questionnaire. Elles sont classées par ordre décroissant d'apparitions dans deux catégories : points positifs et neutres / points négatifs. Seuls les mots de racine commune ont été assemblés (ex: surpris /surprenant) ou les synonymes vraiment proches (ex: détendant/relaxant)

| Points positifs ou neutres | | | | Points négatifs | |
|---|----|-----------------------------|---|---|---|
| Agréable | 18 | Détendant/ Relaxant | 3 | Pas de localisation/ Mono | 9 |
| Ressenti physique/ Dans le corps | 10 | Enorme/ Terrible | 2 | Ressenti physique des basses gênant | 5 |
| | | Douceur/ Pas agressif | 2 | | |
| Dans la tête | 6 | Etrange | 2 | Désagréable à fort niveau | 3 |
| Immersion/ Entouré | 6 | Amusant/ Sympa | 2 | Inhomogène | 2 |
| Surpris | 5 | Pur | 1 | Fatigant | 2 |
| Différences oreilles bouchées ou non | 4 | Pas de bruits extérieurs | 1 | Est-ce que c'est dangereux pour le coeur? | 1 |
| | | On se sent bien | 1 | | |
| Comme au casque | 3 | Ecoute naturelle | 1 | Pas assez fort | 1 |
| Même oreilles bouchées | 3 | Original | 1 | Bruit du tuba gênant | 1 |
| On perçoit la reverb originale | 3 | Partout | 1 | | |
| | | Propre | 1 | | |

Pour ce qui est du ressenti physique, 74 remarques sont positives, contre 23 négatives, qui plus est si l'on considère que le fait de ne pas localiser est un point négatif. En effet, une véritable question se pose quant à l'utilité de la localisation (cf discussion § 4.6.).

C'est donc pour beaucoup de participants une expérience « agréable », « surprenante ». Beaucoup de sujets ne s'attendaient pas à ce que la perception subaquatique fonctionne aussi bien. D'ailleurs, sur les 11 personnes qui ont participé au premier test, 6 sont revenues lors de la deuxième série...

Le ressenti dépend aussi de la familiarisation avec le milieu. En effet, les commentaires négatifs ont pour la plupart été écrits par des sujets qui se considéraient comme peu à l'aise dans l'eau. Leur appréhension s'est donc traduite par une crainte vis-à-vis des vibrations.

4.3.2 Conclusions

Il s'agit donc d'une expérience très positive pour la plupart des sujets. C'est une expérience nouvelle, qui est « surprenante » et « agréable ». Les sujets sont « immergés » et ils « perçoivent la musique physiquement », « dans la tête ». Ces « vibrations » peuvent néanmoins s'avérer « gênantes » dans les basses fréquences et à fort niveau. Enfin la « localisation semble impossible », le son étant perçu « dans le crâne ».

4.4 Rendu spectral, musical et dynamique

4.4.1 Rendu spectral

Comme pour le ressenti physique, le rendu spectral était une des pistes d'écoutes lors de la première partie de chaque séance. Les réponses sont donc diverses et variées. Elle traduisent de nouvelles sensations et le vocabulaire employé par chacun est important. Cette partie sera donc traitée comme celle sur le ressenti physique, avec un tableau recensant les mots employés par les sujets et leur fréquence d'apparition. Les participants pouvaient de nouveau se déplacer dans le bassin.

| <i>Points positifs ou neutres</i> | | <i>Points négatifs</i> | | | |
|-----------------------------------|----|-------------------------------|---|---------------------|---|
| + de basses au fond | 12 | Trop de graves | 9 | Résonances gênantes | 1 |
| ≠ en fonction de la profondeur | 8 | Pas assez de graves | 9 | Extrêmement changé | 1 |
| | | Pas assez d'aigus | 7 | Basses agressives | 1 |
| ≠ en fonction de la position | 7 | Les mediums moches en surface | 7 | Son téléphonique | 1 |
| | | | | Aigus trop doux | 1 |
| Voix pop bien rendue | 3 | Trop d'aigus | 6 | Provenance floue | 1 |
| Audible | 2 | Pas assez de médiums | 4 | Mauvaise précision | 1 |
| Reconnaissable | 2 | Bande passante réduite | 4 | Filtrage en peigne | 1 |
| Ecoute de qualité | 2 | Timbres modifiés | 4 | Sourd | 1 |
| Intelligibilité | 2 | Saturation/ distorsion | 4 | | |
| Timbres conservés | 2 | Manque de clarté | 2 | | |
| + fort près des parois | 2 | Étouffé/émoussé | 2 | | |
| Large spectre | 1 | Lointain | 2 | | |
| Fin | 1 | Inégal/ Déséquilibré | 2 | | |

Pour ce qui est du rendu spectral, les remarques sont formulées avec la perception aérienne comme référentiel, d'où la présence de nombreuses modifications spectrales qui peuvent apparaître comme « négatives » (62% des remarques). La perception du timbre sous l'eau est donc très différente de celle en milieu aérien. Il est aussi intéressant de voir qu'il y a souvent une impression et son contraire (trop de graves/pas assez de graves, ou pas assez d'aigus/trop d'aigus). Bien sûr, ce sont des termes assez vagues mais cela montre bien que c'est une approche totalement nouvelle et assez difficile à décrire.

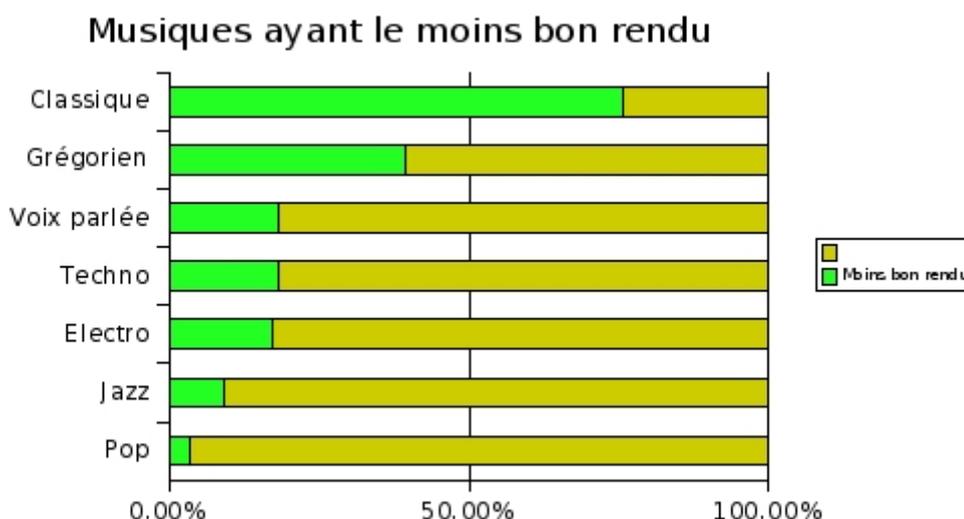
Néanmoins, deux points mis en évidence lors de ce test peuvent expliquer ces contradictions. Il s'agit des différences en fonction de la profondeur (8 fois mentionnées) ainsi que des différences en fonction de la position (7 fois mentionnées). Cela met en évidence le fait qu'un bassin est un volume inhomogène, et que la perception varie en fonction de la position (même indépendamment de la distance aux hauts-parleurs). Les auditeurs ont donc répondu différemment en fonction de leur attitude d'écoute et de leur position dans le bassin. Un fait à peu près certain est qu'il y a beaucoup de médiums à la surface et beaucoup de basses au fond.

4.4.2 Rendu musical

A la question « trouvez-vous que certains extraits sont moins bien restitués que d'autre? », 38 sujets ont répondu « oui », soit 93% des participants.

Comme tous les sujets n'ont pas écouté les mêmes extraits, le tableau suivant regroupe les données des différents tests et permet d'établir un classement subjectif des extraits qui ont été perçus comme ayant « le moins bon rendu »:

| Genre musical | Moins bon rendu | Sujets interrogés | Pourcentage |
|----------------------|------------------------|--------------------------|--------------------|
| Classique | 31 | 41 | 73 % |
| Electro | 7 | 41 | 17 % |
| Voix Parlée | 2 | 11 | 18 % |
| Jazz | 1 | 11 | 9 % |
| Techno | 2 | 11 | 18 % |
| Chant grégorien | 11 | 28 | 39 % |
| Pop | 1 | 28 | 3% |



Les raisons principales évoquées pour expliquer le mauvais rendu de certaines musiques sont :

- La dynamique de certains extraits qui est très mal restituée sous l'eau, ce qui est vrai pour la musique classique (notamment pour l'extrait symphonique qui était un grand crescendo orchestral).
- Les extraits qui demandent de la finesse au niveau de la restitution des timbres, ainsi que de la richesse spectrale. Les transitoires étaient altérées dans l'orchestre.
- Pour la techno et l'électro, les raisons avancées étaient souvent des basses qui étaient désagréables et trop présentes. Ce sont d'ailleurs les mêmes personnes qui ont été sensibles aux vibrations et aux basses fréquences lors de la question sur le ressenti physique.

Lors du premier test, les très bons résultats concernant l'intelligibilité de la voix parlée (10 sur 11 ont tout compris, et le dernier a presque tout compris) ont permis d'abandonner des idées de tests d'intelligibilité pour les séances ultérieures, la qualité d'écoute étant globalement très bonne.

4.3.3 Rendu dynamique

Le premier test avait permis de mettre en évidence le fait qu'une grande dynamique était mal restituée lors d'une écoute subaquatique, d'où l'idée d'un test sur la compression.

Deux extraits (un jazz et un classique) ont été diffusés à trois reprises, dans la version originale, avec une compression de 2:1 (Seuil: -40 dBFS, Attaque: 10 ms, Release: 300 ms) et avec une compression de 10:1 (mêmes réglages). Les trois extraits étaient diffusés dans un ordre pris au hasard et il était demandé aux participants d'identifier les versions. La notion de compression étant délicate pour certains, seuls les résultats des ingénieurs du son (ou ingénieurs du son en devenir) sont exposés ici :

| <i>Les bonnes réponses sont en vert</i> | | | | |
|---|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Genre (nb sujets) | Compression supposée | Réponses extrait 1 | Réponses extrait 2 | Réponses extrait 3 |
| Jazz (11) | Original | 7 | 3 | 1 |
| | 2:1 | 2 | 0 | 9 |
| | 10:1 | 2 | 8 | 1 |
| Classique (7) | Original | 2 | 3 | 2 |
| | 2:1 | 1 | 2 | 4 |
| | 10:1 | 4 | 2 | 1 |

Pour l'extrait Jazz, il y a eu 73 % de bonnes réponses (le probabilité de donner la bonne réponse en répondant au hasard est de 16,6 %). C'était un morceau qui était déjà compressé par ailleurs. Par contre, pour l'extrait classique, il n'y a eu que 46 % de bonnes réponses, alors que les versions compressées à 10:1 en auraient fait bondir plus d'un en aérien. De plus, si l'on considère que deux personnes ne se sont pas prononcées pour l'extrait classique, le pourcentage de réussite passe à 40 %. Cela reste néanmoins supérieur au hasard.

La perception de la dynamique semble donc très limitée sous l'eau. Quant à savoir s'il peut être intéressant de compresser des oeuvres avec une grande dynamique, les réponses sont partagées. Certaines personnes ont estimé que la compression était nécessaire sur certains extraits (classique notamment) alors que d'autres pensaient que dans un contexte moins bruyant, une grande dynamique aurait pu être intéressante.

4.4.4 Conclusions

Cette première approche avec l'écoute subaquatique a rencontré un vif intérêt et a permis de fixer les points suivants :

- La perception subaquatique est ressentie de manière physique. Les vibrations sont ressenties à travers le corps.
- Le son est perçu dans le crâne. La localisation semble difficile.
- Le rendu spectral est modifié par rapport à nos habitudes d'écoute aériennes, et il dépend de la profondeur et de la position de l'auditeur dans le bassin:
 - Il existe une bosse dans les mediums à la surface.
 - Les basses sont renforcées au fond du bassin.
- Certaines musiques sont mieux rendues que d'autres:
 - Les finesses de timbre sont assez mal restituées.
 - Les grandes dynamiques ne peuvent pas être rendues.
- La perception de la dynamique est limitée sous l'eau.

4.5 Contribution du bassin

4.5.1 Acoustique du bassin

Une première expérience sur l'acoustique du bassin a été faite lors de la première série de tests. Comme les références sur la question manquaient cruellement, les questions étaient d'ordre général. Il était demandé aux 11 participants de prêter attention aux notions de champ proche, de champ lointain et de distance critique.

Les enceintes étaient disposées à mi-hauteur, là où il y avait 1m 30 de profondeur, et dirigées vers le reste du bassin. Par analogie avec le modèle aérien, une partie de la piscine était dans un champ supposé proche (près des haut-parleurs), l'autre partie était dans un champ supposé diffus.



Fig. 26:
Bassin vu de
dessus

La première question posée après 10 minutes d'écoute était :
« Peut-on adapter la théorie aérienne sous l'eau et considérer qu'il y a un champ direct et un champ réverbéré? »

Sur 11 participants, 7 ont pensé que c'était impossible. Il leur semblait que le « rapport son/direct son réverbéré ne changeait pas », qu'il n'y avait « aucun espace ». La seule différence entre une position proche et une position lointaine était une différence de niveau. Certains sujets ont aussi remarqué que le volume augmentait à proximité des parois.

Ceux qui ont dit que la théorie aérienne pouvait s'appliquer parlaient néanmoins de réverbération « sèche », « assez neutre » ou encore d'« acoustique peu réverbérante ». Les différences entre son direct et son réverbéré étaient perçues comme des modifications spectrales.

Pour tous les sujets qui ont répondu à la question (9 sujets), le point d'écoute optimal se trouvait être dans la zone où il y avait le plus de niveau sonore.

Fig. 27: Zone
d'écoute
préférentielle



Enfin, un point intéressant qui correspond à la théorie est que la présence de personnes entre l'auditeur et les enceintes ne modifie en rien la perception. Le corps est donc bien perçu comme transparent par l'onde. Cette question était nécessaire au premier test afin de savoir si les écoutes devaient être individuelles ou non par la suite.

4.5.2 Homogénéité du bassin

Lors de la deuxième série de tests, une expérience a été menée pour essayer de caractériser l'inhomogénéité du bassin, et plus particulièrement les différences en fonction de la profondeur qui avaient été mises en évidence lors du premier test.

Deux extraits de 30 s chacun (classique puis jazz latino) ont été diffusés à deux reprises avec deux positionnements d'enceintes différents.

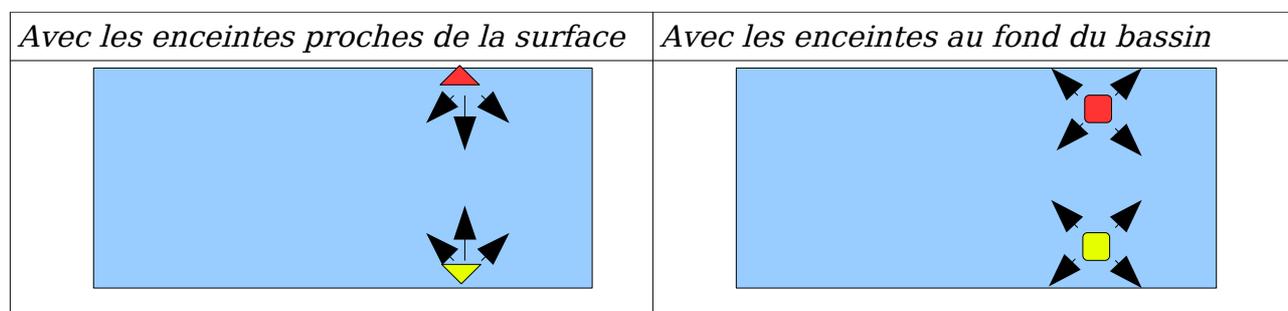


Fig. 28: Position des haut-parleurs

Les participants devaient écouter au fond du bassin et en surface afin de noter les différences entre les 2 placements d'enceintes. Il devaient ensuite essayer de déterminer une position d'écoute et un positionnement d'enceintes préférés.

Les résultats pour ce qui est des différences de perception en fonction de la profondeur vont dans le même sens que lors des impressions générales à la première question:

- Plus de basses au fond et plus fort
- Médium renforcé en surface
- Immersion meilleure au fond

Néanmoins, la position des enceintes joue un rôle non négligeable:

- Plusieurs personnes trouvent que les enceintes en surface donnent un rendu plus homogène.
- Les personnes en faveur des enceintes au fond font ressortir une meilleure définition ainsi qu'un gonflement des basses agréable.

Peut-on alors déterminer un couple « position d'écoute/placement d'enceintes » qui serait optimal?

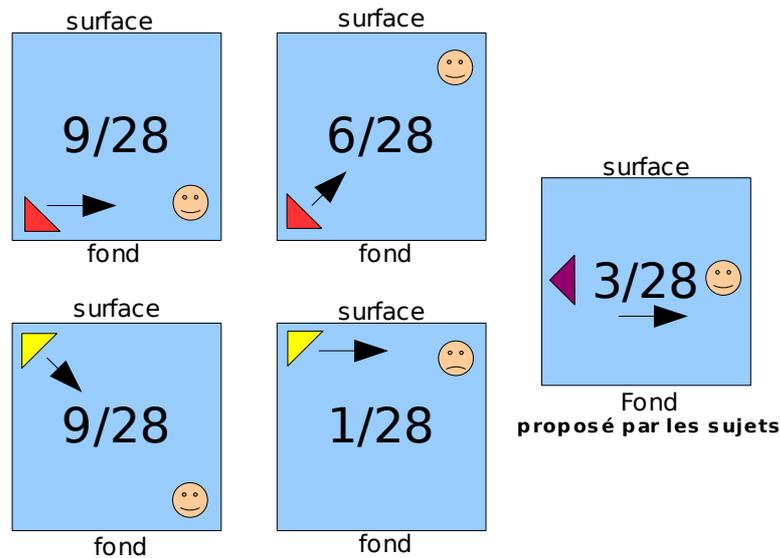


Fig. 29: Position d'écoute, placement des enceintes

On voit que les résultats sont assez variés, et dépendent des goûts de chacun. Néanmoins, certaines lignes ressortent :

- Préférence pour une écoute au fond (64 %)
 - ➔ avec les enceintes en surface (équilibre, immersion)
 - ➔ avec les enceintes au fond (volume, immersion, plus de basses)
- Lors d'une écoute en surface il vaut mieux mettre les enceintes au fond (si par exemple les enceintes sont encastrées).
- Certaines personnes ont proposé d'elles-même une version intermédiaire (trop de graves au fond, pas assez en surface)

4.5.3 Conclusions

Les expériences relatives au champ acoustique dans le bassin permettent de tirer les conclusions suivantes:

- Le bassin ne donne aucune impression d'espace, l'acoustique y est sèche voire inexistante.
- Les différences perçues en fonction de l'éloignement sont des différences de niveau.
- Le corps humain est perçu comme transparent par l'onde sonore.
- La profondeur modifie le signal sonore
 - Plus de basses au fond
 - Plus de médiums en surface
- Les meilleures combinaisons d'écoute sont:
 1. Ecoute au fond/ Enceintes en surface ou au fond
 2. Ecoute en surface/ Enceintes au fond
 3. « Entre deux eaux... »

4.6 Localisation

Les tests de localisation subaquatiques ont été très surprenants. Les adeptes de l'écoute subaquatique affirment que la perception est mono, dans la tête. Une autre question se posait: « Quel intérêt avons nous à localiser? ». En effet la sensation interne, qui est « laissée pour compte après la naissance » (N. Canivenq), serait peut-être affaiblie en cas de localisation. Les trois points suivants montrent l'évolution qu'ont connu les questionnaires afin d'arriver à des résultats probants.

4.6.1 Localisation frontale

Lors du premier test, quatre extraits ont été proposés:

- Un extrait symphonique diffusé uniquement à gauche ou uniquement à droite (4 fois le même extrait, dans l'ordre G, G, D et D)
- Un extrait de maracas qui passait d'une enceinte à l'autre (aucun indice sur le nombre de changements, le chemin parcouru était G, D, G, D et puis Centre)
- Un extrait de Rock (une guitare à gauche, l'autre à droite)
- Un extrait de musique symphonique (pour essayer de distinguer des plans sonores)

Les 11 sujets étaient placés sur la ligne médiane (autant que possible vu le manque de place).

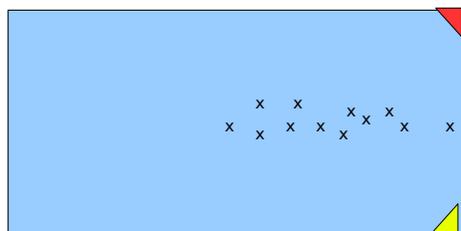
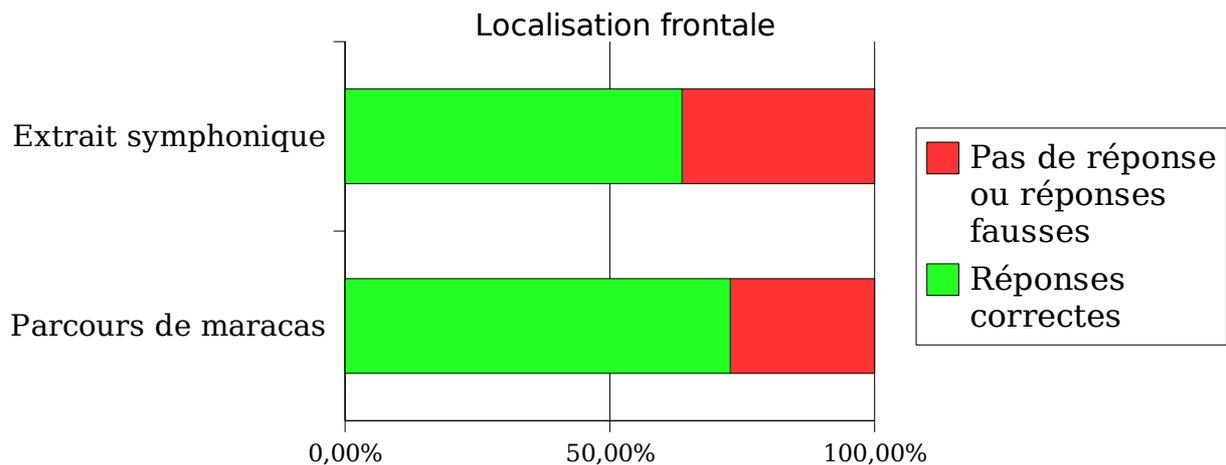


Fig. 30:
Placement des
auditeurs

Les réponses correctes sont uniquement les séquences reconnues dans leur totalité. La réponse G,D,G,D était considérée comme bonne pour les maracas.



| <i>Extraits</i> | <i>Réponses correctes</i> | <i>Pas de réponse ou réponses fausses</i> |
|------------------------|----------------------------------|--|
| Extrait symphonique | 7 | 4 |
| Parcours de maracas | 8 | 3 |

Les résultats sont donc très bons (resp. 64 % et 73 % de bonnes réponses), la réponse aléatoire se situant à 12,5%. De plus, ce ne sont pas les mêmes sujets qui n'ont pas trouvé aucune des séquences : en effet, 3 de ceux qui n'ont pas trouvé l'extrait symphonique se sont rapprochés du plan des enceintes pour les maracas et ont donné la bonne réponse. Les réponses sont en effet meilleures pour les personnes situées devant. Certains ont même trouvé cela « facile ». Cela confirme l'idée que l'angle d'écoute sous l'eau est beaucoup plus élevé qu'en aérien, pour obtenir de bons résultats (cf § 2.3.2.3)

Après discussion, il a été mis en évidence qu'on localisait « par hémisphère », mais que cela restait une perception intra-crânienne.

Par contre pour les extraits plus complexes, les réponses sont nettement plus mitigées. En effet, les rares personnes qui ont entendu les guitares en stéréo dans l'extrait Rock ont avoué avoir été influencés car c'est une pratique fort courante, ou encore parce qu'ils connaissaient le morceau. Et en ce qui concerne l'extrait symphonique, personne n'a pu répondre, ou alors c'était encore une fois par connaissance avouée de la disposition d'un orchestre symphonique.

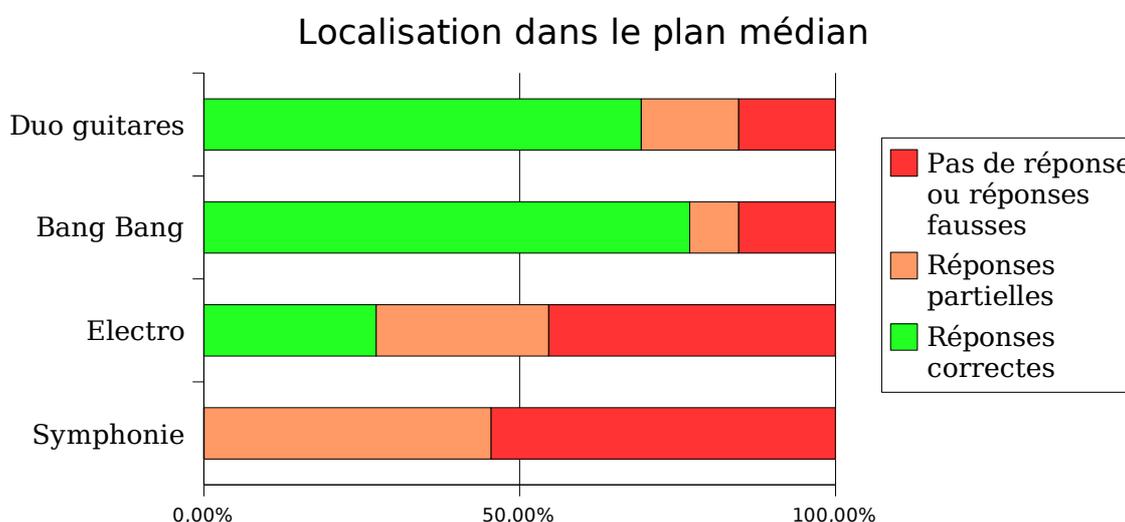
4.6.2 Localisation dans le plan des enceintes

4.6.2.1 Séances du 13 et 14 Mars 2008

Comme la localisation se fait par hémisphère, les résultats devraient être maximisés dans le plan des enceintes. C'est ce que a été fait lors de ces deux séances.

Les 13 sujets passaient par quatre au maximum, en carré, entre les deux enceintes. Les extraits étaient les diffusés par ordre de complexité croissante:

- Un duo de guitares acoustiques (pané G/D)
- « Bang Bang » de Nancy Sinatra (guitare électrique à droite, voix à gauche)
- Un extrait électro (voix panées, sons tournants)
- Un extrait symphonique (la difficulté ultime, une fois de plus)

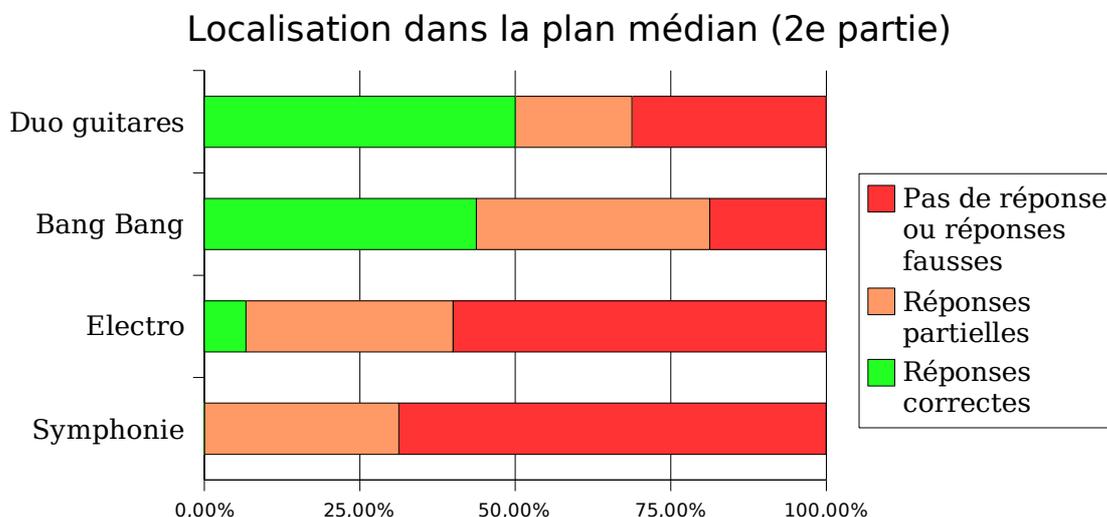


| Extraits | Réponses correctes | Réponses partielles | Pas de réponse ou réponses fausses | Nb sujets |
|-----------------|---------------------------|----------------------------|---|------------------|
| Duo guitares | 9 | 2 | 2 | 13 |
| Bang Bang | 10 | 1 | 2 | 13 |
| Electro | 3 | 3 | 5 | 11 |
| Symphonie | 0 | 5 | 6 | 11 |

Les réponses s'affinent nettement lorsqu'on se trouve dans le plan des enceintes. Par contre, pour ce qui est de l'intérêt de la localisation, les voix ne sont pas unanimes: 55 % pensent que c'est intéressant, 45 % pensent que cela ne vaut pas la peine. Ceci dit, les sceptiques vis-à-vis de la stéréophonie existent aussi pour les écoutes aériennes..

4.6.2.2 Séances du 20 et 21 mars

Pour vraiment entendre quelle était la contribution de la stéréo par rapport à la mono, il a été décidé lors des deux dernières séances de diffuser d'abord chaque extrait en mono, puis en stéréo.



| <i>Extraits</i> | <i>Réponses correctes</i> | <i>Réponses partielles</i> | <i>Pas de réponse ou réponses fausses</i> | <i>Nb sujets</i> |
|-----------------|---------------------------|----------------------------|---|------------------|
| Duo guitares | 8 | 3 | 5 | 16 |
| Bang Bang | 7 | 6 | 3 | 16 |
| Electro | 1 | 5 | 9 | 16 |
| Symphonie | 0 | 5 | 11 | 16 |

Les résultats ne sont pas meilleurs en termes de localisation avec une écoute monophonique au préalable. Au contraire, les résultats sont moins bons, mais c'est probablement lié au fait que plusieurs sujets n'étaient pas ingénieurs du son. Par contre, les sujets se sont accordés à dire que la stéréo donnait un meilleur rendu (surtout pour la musique classique). Les mots qu'ils ont employés sont restitués par fréquence d'apparition :

| | | | |
|------------------------|---|-------------------|---|
| Sensation d'espace | 4 | Précision | 1 |
| Aéré | 3 | Largeur | 1 |
| Plus de définition | 2 | 100 fois meilleur | 1 |
| Clarifie | 2 | Plus Ample | 1 |
| Profondeur | 1 | Mieux | 1 |
| Enveloppement meilleur | 1 | Ca respire | 1 |
| Plus agréable | 1 | | |

Ces réponses sont collectées sur les 17 personnes qui ont pu comparer chaque extrait en mono et en stéréo.

4.6.3 Point d'écoute

Une dernière question est survenue suite aux résultats précédents. Maintenant que l'apport de la stéréo a été démontré, rien ne nous oblige à localiser complètement à 180°. Trois sujets ont même dit que la localisation les fatiguait. De plus nous sommes plus habitués à écouter de la musique en position frontale. Il s'agirait donc de trouver un compromis entre localisation et confort d'écoute et d'essayer de définir un point d'écoute optimal. Cela permettrait de valider l'hypothèse théorique selon laquelle l'angle d'écoute est environ 6 fois plus grand en aérien (cf § 2.3.2.3).

La formulation de la question il est vrai suggérait une réponse en retrait par rapport à l'axe des enceintes. Voici néanmoins ce que les participants ont noté:

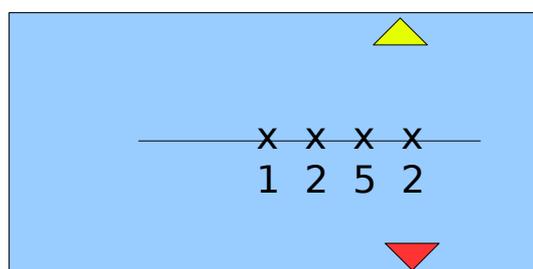


Fig. 31: Point d'écoute optimal

Lorsque l'auditeur n'est plus dans le plan des enceintes, la sensation d'espace est quand même bonne avec une diffusion stéréo, et la localisation est encore possible (le test de localisation frontale l'avait partiellement démontré). Il est donc possible de choisir une position d'écoute plus frontale. Les sujets disent que l'on « perd en définition », mais on « gagne en confort ». La définition peut cependant être améliorée en orientant les enceintes dans l'axe de l'auditeur (forte directivité des enceintes (cf § 4.1.2.4, et page 94)

4.6.4 A propos des oreilles bouchées

Lors de la dernière séance, les sujets ont pu écouter avec une indication supplémentaire : oreilles bouchées ou oreilles libres. Il se trouve que la perception est changée lorsque les oreilles sont bouchées. Certaines personnes l'avaient d'ailleurs noté dans les premières impressions:

- Le son est plus défini
- On a une perte de niveau dans les basses fréquences
- On perd une partie de la sensation d'espace

Cela signifie que les mécanismes de l'oreille jouent quand même un rôle dans la perception subaquatique. La perception solidienne serait doublée d'une perception « classique », essentiellement dans les basses fréquences, et cela créerait un nouvel espace. La contribution sonore des oreilles serait analysée avec un certain retard par rapport à la perception « crânienne », et c'est ce qui créerait cette nouvelle sensation d'espace.

Ces résultats vont dans le sens de la théorie : puisque les éléments de localisation sont donnés par les différences interaurales de temps, ce sont bien les basses fréquences qui donnent la sensation d'espace (cf § 2.3.2.1). Cela confirme aussi les résultats de Sophie Savel qui avait noté que les mécanismes de l'oreille jouaient un rôle dans la localisation (cf § 2.3.2.2).

La sensation d'espace, de réverbération liée au bassin ne serait donc essentiellement qu'une illusion due à notre double perception.

4.6.5 Conclusions

Cette conclusion récapitule les points importants concernant la localisation:

- La localisation est possible. Elle se fait par hémisphère cérébral.
 - Elle est optimale lorsque l'auditeur est dans le plan des enceintes.
 - Elle est correcte pour une ouverture d'enceintes allant de 120 à 180 degrés.
- Les extraits sonores avec des sources très caractérisées gauche/droite sont reconnaissables.
- la stéréophonie, par comparaison avec la monophonie, apporte une sensation d'espace et augmente le confort d'écoute.
- La perception « classique » (via les oreilles) joue un rôle dans la localisation :
 - Elle amplifie les basses fréquences
 - Elle donne une sensation d'espace supplémentaire
 - Elle affecte la précision et la définition.

4.7 Recherche post-expérimentale

Les études ci-dessous ont été effectuées a posteriori, après analyse des tests perceptifs, afin d'essayer de faire concorder les dires des participants et les résultats scientifiques.

4.7.1 Etude modale

4.7.1.1 Pour la piscine Mathis

La forme du bassin étant presque parallélépipédique, une étude modale peut apporter des éléments de réponse quant au champ acoustique mesuré dans le bassin.

Les modes sont susceptibles de s'installer :

- Dans la largeur (entre les parois de 6m)
- En hauteur (entre l'eau et le fond). Il existe une pente d'inclinaison très faible, mais cela comprend les deux plus grosses surfaces du bassin
- Dans la longueur, mais les marches du petit bain cassent le parallélisme

L'étude des premiers modes axiaux avec une célérité de 1500 m/s donne:

- Mode (0,1,0) *dans la largeur*: $f_{(0,1,0)} = \frac{c}{2l} = \frac{1500}{12} = 125 \text{ Hz}$

- Mode (0,0,1) *dans la hauteur*: $f_{(0,0,1)} = \frac{c}{2h} = \frac{1500}{2,2} = 680 \text{ Hz}$ calculé à h=1,1m

- Mode (1,0,0) *dans la longueur*: $f_{(1,0,0)} = \frac{c}{2L} = \frac{1500}{24} = 63 \text{ Hz}$

Le mode suivant la longueur n'est en effet pas présent dans le bassin, par contre, les modes de 125 et 680 Hz correspondent exactement aux deux bosses trouvées avec le sweep à 1 m (il y avait 1m 10 de fond environ au niveau de la prise). Ces modes sont hauts en fréquence en comparaison avec les modes d'acoustique des salles. Cela est dû à la célérité du son dans l'eau qui est 5 fois plus élevée que dans l'air. Le mode qui s'installe en hauteur est même plus fort que celui de la largeur puisque la surface est très réfléchissante.

Néanmoins, on remarque sur le sweep à 8m que la bosse qui correspond au mode propre en hauteur reste à peu près dans la même zone de fréquence, alors qu'elle devrait être plus haute en fréquence (vers 900 Hz pour h=85 cm) ce qui laisse quelques doutes. De plus on devrait quand même apercevoir des raies correspondant aux modes (0,2,0) à 250 Hz, (0,3,0) à 375 Hz, (0,4,0) à 500 Hz et (0,5,0) à 625 Hz, ce qui n'est pas le cas.

On peut cependant formuler l'hypothèse suivante:

Hypothèse n°1:

Un petit bassin est un lieu dans lequel les modes propres sont très présents. Ces derniers donnent une couleur prononcée dans le bas et le médium du spectre.

4.7.1.2 Pour la baignoire

Les dimensions de la baignoire sont approximativement de 145 cm dans la longueur (à mi-hauteur), 50 cm dans la largeur (à mi-hauteur toujours), et elle était remplie d'eau à hauteur de 30 cm environ.

L'étude des premiers modes axiaux avec une célérité de 1500 m/s donne:

- Mode (0,1,0) *dans la largeur*: $f_{(0,1,0)} = \frac{c}{2l} = \frac{1500}{1} = 1,5 \text{ kHz}$
- Mode (0,0,1) *dans la hauteur*: $f_{(0,0,1)} = \frac{c}{2h} = \frac{1500}{0,6} = 2,5 \text{ kHz}$
- Mode (1,0,0) *dans la longueur*: $f_{(1,0,0)} = \frac{c}{2L} = \frac{1500}{2,9} = 517 \text{ Hz}$

On remarque que cette fois, l'analyse modale ne donne aucun résultat valable puisque les deux bosses mesurées étaient à 100 Hz et à 4 kHz (cf § 4.1.2.3). Ces modes tombent en plein dans la zone creusée du spectre. Il s'agit donc bien de phénomènes vibratoires complexes de la structure, plutôt que de modes acoustiques.

4.7.2 Acoustique des matériaux

L'extrême sécheresse de l'acoustique ajouté au fait que la musique s'entend à plusieurs mètres du bassin lorsque l'on pose son oreille contre le sol, a fait germer quelques pistes de recherche en acoustique des matériaux. De plus, la largeur des bosses de présence relevées avec l'hydrophone ne peut pas être due uniquement à des modes propres (la bosse de présence serait plus sélective). D'où l'idée de partir des caractéristiques physiques des matériaux.

La piscine est considérée comme entourée de béton. L'impédance acoustique d'un matériau tel que le béton est :

$$Z_{\text{béton}} = \rho_{\text{béton}} c_{\text{béton}}$$

La masse volumique du béton varie en fonction de la qualité. Pour un béton ordinaire on peut prendre:

$$\rho_{\text{béton}} = 2200 \text{ kg.m}^{-3}$$

Pour ce qui est de la vitesse, elle varie aussi en fonction de la quantité de bulles d'air enfermées dans le béton. Pour un béton ordinaire :

$$c_{\text{beton}} = 3200 \text{ m.s}^{-1}$$

soit :

$$Z_{\text{beton}} = 7.10^6 \text{ kg.m}^{-2} . \text{s}^{-1}$$

Le facteur de transmission est :

$$t = \frac{c_{\text{beton}}}{c_{\text{eau}}} = \frac{2 Z_{\text{eau}}}{Z_{\text{eau}} + Z_{\text{beton}}} = 0,35$$

La moitié de l'onde est transmise! En comparaison, le facteur de transmission air béton est 1.10^{-4} , soit un rapport 3500.

Le libre parcours moyen d'une onde entre deux parois étant :

$$l_m = \frac{4V}{S_{\text{beton}}} = 2,10 \text{ m}$$

En 10 ms, l'onde a parcouru 15 mètres environ. Son amplitude est $(1-0,35)^6 = 0,075$ par rapport à l'amplitude initiale, soit une perte de 23 dB! Et cela, sans compter les pertes en $1/r$ dues à la divergence sphérique. Le bassin serait donc un espace anéchoïque, excepté à la surface.

De plus, dans les matériaux solides, le transport d'énergie se fait aussi par ondes transversales, ou ondes de cisaillement, et non plus uniquement par l'onde acoustique longitudinale. Le bassin rentrerait donc en vibration. Cela installerait des résonances aux fréquences qui correspondent aux dimensions du bassin. Il ne s'agit plus de modes au sens acoustique avec des réflexions et une notion temporelle de la résonance, mais d'un état de résonance établi, d'où une deuxième hypothèse:

Hypothèse n°2:

Un bassin se comporte comme un chambre semi-anéchoïque avec:

- Des parois asorbantes
- Une surface réfléchissante

Néanmoins, les résonances induites par la vibration du bassin créent une « empreinte acoustique » qui correspond aux modes propres du volume, mais sans la notion de réverbération.

Les courbes de réponse mesurées à l'Ifremer de Toulon montrent de plus que ces vibrations dépendent de l'encastrement du bassin. Autant le bassin de la piscine Mathis rentre facilement en vibration car il n'est pas ancré dans le sol (une salle des machines se situe juste en dessous), autant le bassin d'essai de l'Ifremer vibre peu car il est en bord de mer et les ondes peuvent donc « s'échapper » vers le large (cf § 7.1.2).

5 Discussions, conclusions et perspectives

5.1 Synthèse des différentes expériences

Lors de chaque expérience, le premier quart-d'heure était destiné à la familiarisation des sujets avec ce nouveau milieu et cette nouvelle façon d'écouter de la musique.

Ce qui est ressorti de ces premières impressions subaquatiques est que la musique est vraiment ressentie physiquement, organiquement, grâce aux vibrations transmises par l'eau. Les oreilles ne fonctionnent pas sous l'eau de la même manière qu'en aérien. Le son est perçu à l'intérieur de la tête, ce qui augmente l'effet d'immersion qui existe par nature sous l'eau. Les ondes traversent d'ailleurs le corps humain, et le nombre de personnes dans l'eau ne modifie donc pas le champ acoustique dans le bassin;

Plusieurs remarques ont porté sur le rendu spectral. Il est en effet différent en fonction de la position de l'auditeur en profondeur. A distance équivalente des haut-parleurs, il existe une bosse dans les mediums lors d'une écoute en surface, alors que les basses sont renforcées au fond du bassin. De ce fait, les non-linéarités du spectre relevées à l'aide d'un hydrophone sont certes imputables à la réponse en fréquence des haut-parleurs, mais aussi aux caractéristiques du bassin, qui est un milieu inhomogène.

Pour la plupart des participants, les différents styles de musique n'ont pas le même rendu sous l'eau. Le milieu aquatique restitue très mal les dynamiques, et les finesses de timbre ne sont pas toujours perçues. La restitution d'instruments acoustiques est assez délicate.

La contribution acoustique du bassin est originale : ce dernier ne donne aucune impression d'espace, et l'auditeur a l'étrange sensation d'être en permanence dans le champ direct des enceintes, même lorsqu'il est à l'autre bout du bassin. Les seuls indices de l'éloignement par rapport aux haut-parleurs sont des différences de niveau. En plus des différences liées à la profondeur d'écoute citées plus haut, le bassin possède une empreinte acoustique : une bosse de présence entre 100 et 120 Hz, ainsi qu'une bosse vers 600, 700 Hz. Ces deux bosses de présence correspondent aux deux premiers modes axiaux dans le sens de la largeur et de la hauteur. Ils sont néanmoins perçus comme une coloration du son direct et non comme une réverbération. La position d'écoute ainsi que l'emplacement des enceintes est très important car la perception en est vraiment modifiée.

Contrairement aux premières impressions, la localisation sous l'eau est possible. Nous avons sous l'eau l'impression de localiser par hémisphère de cerveau. Cela induit une localisation optimale dans le plan des enceintes, avec un espacement d'enceintes de 180 degrés. La localisation ne marche que pour des morceaux avec des sources très latéralisées. Cependant une écoute stéréophonique apporte une réelle sensation d'espace, comme si les sources se répartissaient dans le cerveau, ce qui augmente l'intelligibilité de la musique et le confort d'écoute.

Enfin, les oreilles semblent quand même jouer un rôle dans la perception subaquatique. Le rendu des basses fréquences est modifié. Lorsque nos oreilles sont dégagées, elles donnent une sensation d'espace supplémentaire grâce à ce nouvel apport de basses fréquences. La perception classique additionnée avec un léger retard à la perception « crânienne » créerait une illusion d'espace.

5.2 Perspectives de recherche

Ce mémoire permet de proposer des idées diverses afin d'optimiser une écoute subaquatique.

Tout d'abord, les test perceptifs et les mesures réalisées dans le bassin permettent d'établir plusieurs pistes pour améliorer le système de diffusion et pour l'adapter au volume dans lequel il est immergé:

- La courbe de réponse du système peut être linéarisée, afin de rétablir une écoute plus naturelle, minimisant ainsi les résonances engendrées par le bassin.
- Les résonances engendrées par les vibrations du bassin peuvent être atténuées grâce à une étude sur la composition des matériaux. Les formes de bassin peuvent aussi jouer un rôle et atténuer ces résonances.
- Un travail sur la diffusion stéréophonique ainsi que sur le positionnement des haut-parleurs peut augmenter la qualité de la perception, notamment si la position de l'auditeur est fixe.
- Un traitement en fonction de la profondeur est aussi envisageable afin de rendre le champ acoustique plus homogène.

Des pistes de recherche sont aussi lancées pour créer de la musique prévue spécialement pour ce milieu:

- Les morceaux qui ont le meilleur rendu sont ceux qui ont un spectre très large et creusé dans le bas-médium.
- Le bassin ayant peu ou pas d'acoustique, les morceaux qui offrent déjà une grande sensation d'espace et de réverbération sont très bien restitués.
- Les sources gagnent à être panoramisées dans une image sonore, et elles sont d'autant mieux définies qu'elles ont des timbres différents.
- Les morceaux doivent avoir une dynamique assez réduite, excepté si le bruit ambiant est vraiment bas, ce qui est loin d'être le cas dans une piscine municipale.

Le résultat peut être aussi intéressant dans l'autre sens : donner une sensation de morceau aquatique lors d'une diffusion aérienne. Les réponses impulsionnelles du bassin permettent d'implémenter une écoute subaquatique dans des logiciels de reverbération à convolution, et donnent donc un rendu spectral très fidèle à la réalité, même si la sensation est évidemment différente.

5.3 Éléments thérapeutiques

Même si ce n'est pas le sujet du mémoire, l'écoute subaquatique gagne aussi à être étudiée à des fins thérapeutiques. En effet, les bienfaits de l'eau sont utilisés dans bien des domaines médicaux (thalassothérapie, rééducation, pédiatrie...), et ses vertus relaxantes ne sont plus à démontrer. L'écoute subaquatique peut donc ouvrir un nouvel univers de bien-être, un « massage musical » (N. Canivenq, Auamusique).

5.4 Epilogue

« Ca marche! » Comme l'ont si bien décrit certains des sujets qui ont participé avec enthousiasme à ce mémoire, la diffusion musicale sous l'eau fonctionne tout à fait. Les résultats des expériences réalisées donnent de nouvelles pistes pour optimiser une telle écoute et permettre à tout un chacun d'allier deux grands plaisirs terrestres : la musique et le bain.



6 Bibliographie

- Blauert (1997), *Spatial Hearing :The psychophysics of human sound localization*, revised edition, The MIT press
- Bernaschina F. (2003), *Localisation spatiale acoustique en milieu subaquatique*, Thèse présentée à la faculté de Psychologie et des Sciences de l'Éducation de l'Université de Genève
- Cailliez J.C.(2005), « Jean Daniel COLLADON (1802-1893) », www.pionnair-ge.com
- Feddersen W. E., Sandel T. T., Teas D. C. et Jeffress L. A. (1957), « Localization of high-frequency tones », *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 29
- Feinstein S. (1973), « Acuity of the human sound localisation response underwater », *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 53
- Grau G. (1996), *Principes de l'hydroacoustique*, Océanis, Documents océaniques vol 22-4, ed. Institut océanographique
- Hamilton P. M. (1957), « Underwater hearing thresholds », *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 29
- Hollien H. (1971), « Underwater sound localization in humans », *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 53
- Hurtado A. (2006), Cours d'acoustique des salles, FSMS 2e année
- Jouhaneau J. (1994), *Notions élémentaires d'acoustique, électroacoustique, Acoustique appliquée*, CNAM, ed. Tec & Doc
- Landau L., Lifchitz E.(1990), *Physique théorique, tome 7 : Théorie de l'élasticité*, Ed. MIR, Moscou
- Lesueur C. (1988), *Rayonnement acoustique des structures*, Ed. Eyrolles
- Lurton X. (1998), *Acoustique sous-marine, présentation et applications*, Ingénierie et technologie, ed. IFREMER
- Lurton X., Augustin J.M. et Voisset M. (2001), « La cartographie sous-marine », in. *Le monde des sons, Pour la Science*, Dossier N°32, Juillet/Octobre 2001
- Mercier D. (2001), *Le livre des techniques du son, notions fondamentales*, Coll. Audio-Video, 3e édition, ed. Dunod
- Mills, A.W. (1958), « On the minimum audible angle », *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 30
- Poitrenaud N. (2006), Cours d'Acoustique et Sonorisation, FSMS 2e année

- Potter J. (2001), « Le bruit de l'océan », in. *Le monde des sons, Pour la Science*, Dossier N°32, Juillet/Octobre 2001
- Rayleigh Lord J. W. (1877). « Acoustical observations », *Phil. Mag.*
- Salin D., Martin J. (1999), *La mécanique des Fluides*, Sciences 128, ed. Nathan Université
- Savel S. (2001), *Localisation Auditive Subaquatique: de l'identification des mécanismes impliqués à la démonstration de la plasticité d système auditif et à l'application sur les plongeurs*, Thèse, ed. Atelier National de reproduction des Thèses
- Sivian L. J. (1947), « On hearing in water vs. hearing in air », *Journal of the Acoustical Society of America* vol. 19.
- Urick R.J. (1983), *Principles of underwater sound*, 3rd edition, Peninsula pub.
- Venturi, J. B. (1796), « Considérations sur la connaissance de l'étendue que nous donne le sens de l'ouïe », *Mag. Encycl.*
- Vogel C. (1999) *Etude sémiotique et acoustique de l'identification des signaux sonores d'avertissement en contexte urbain*, Thèse ed. Atelier National de reproduction des Thèses
- Vogel C. (2005), Cours de Psychoacoustique FSMS 1e année

ANNEXES

Sommaire des annexes

| | | |
|---------|--|----|
| 7.1 | Documentation technique..... | 67 |
| 7.1.1 | Hyprophone DPA 8010..... | 67 |
| 7.1.2 | Le haut-parleur H062m..... | 69 |
| 7.1.2.1 | Description | 69 |
| 7.1.2.2 | Conditions expérimentales | 70 |
| 7.1.2.3 | Réponses en fréquence | 71 |
| 7.1.2.4 | Directivité | 72 |
| 7.1.2.5 | Discussions | 73 |
| 7.2 | Disques d'écoute..... | 74 |
| 7.2.1 | Pour le 22 février 2008..... | 74 |
| 7.2.2 | Pour les autre séances..... | 75 |
| 7.3 | Questionnaires..... | 76 |
| 7.3.1 | Pour le 22 février 2008..... | 76 |
| 7.3.2 | Pour le 13 et 14 mars 2008..... | 80 |
| 7.3.3 | Pour le 20 mars 2008..... | 83 |
| 7.3.4 | Pour le 21 mars 2008..... | 84 |
| 7.4 | Réponses des sujets..... | 87 |
| 7.4.1 | Ressenti Physique/Rendu spectral et musical..... | 87 |
| 7.4.2 | Acoustique du bassin/ Homogénéité..... | 94 |
| 7.4.3 | Dynamique/ Compression..... | 98 |
| 7.4.4 | Localisation..... | 99 |

7.1 Documentation technique

7.1.1 Hyprophone DPA 8010

User's Manual
Full Specifications



Cartridge type: Piezoelectric sensing element

Principle of operation: Pressure

Power Supply: 48 V Phantom

Frequency range: 100Hz - 20kHz ± 3 dB

Directional characteristics: Omnidirectional

Sensitivity: Nominally 0.7mV/Pa ± 2 dB

Equivalent noise level A-weighted: Typ. $< 8 \mu V$

Max SPL: 162dB SPL peak

Output impedance: $< 300 \Omega$

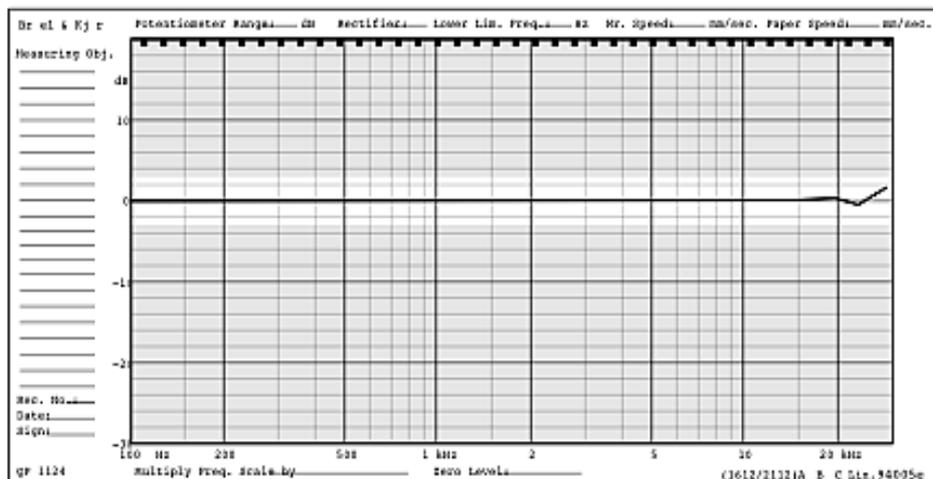
Polarity: Positively increasing sound pressure produces positive-going voltage at pin 2. Pin 1: Ground, Pin 2: Signal +, Pin 3: Signal return

Operating temperature range: -10° to $+50^{\circ}$ C ($+14^{\circ}$ to 122° F)

Dimensions: *Microphone length:* 150mm (5.7in); *Capsule diameter:* 32mm (1.2in)

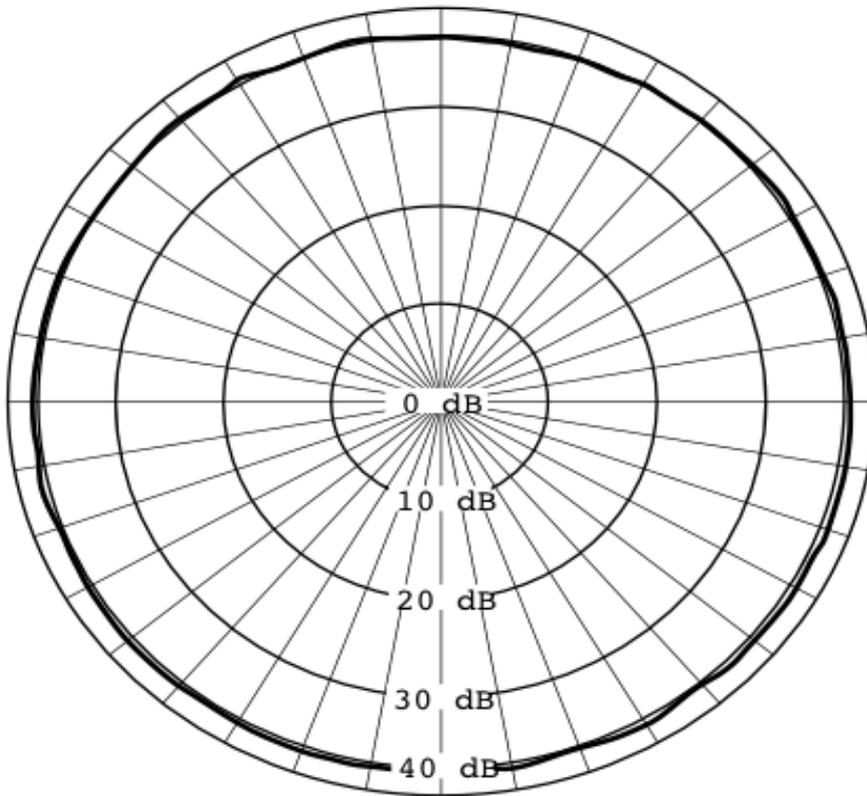
Weight: 500g (1.1lbs) (incl. cable)

Frequency Response



Typical on-axis response in water.

Polar pattern



Directional characteristics of Hydrophone Type 8011 at 10kHz

7.1.2 Le haut-parleur H602m

7.1.2.1 Description

Le haut-parleur H062 m

**AQUA
MUSIQUE**
FRANCE



H062m

Version «coquillage» à immerger dans la piscine.

Ce haut-parleur est réalisé en résine polyester armée fibre de verre, résine polyuréthane et résine silicone (matériaux insensibles à l'eau chlorée), étanches et résistants aux chocs. Le câble de douze mètres fourni avec le H062m est homologué (H07RNF) pour véhiculer l'électricité en immersion totale.

Un exemplaire sonorise un bassin de 35 m³ environ. Simple d'utilisation, il se suspend à 50 cm de profondeur sur le bord ou se pose au fond du bassin. Dans le cas de 2 haut-parleurs: Positionner le premier sur le bord et le second au fond.

Puissance: 60 Watts **8Ω**

Bande passante: de 40 Hz à 16000 Hz.

Dimension du mobile «coquillage»:

Mesure: L: 26 X l: 23 X h: 6 cm

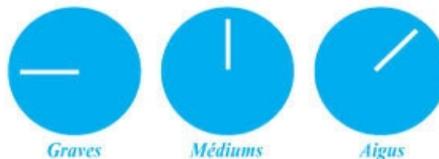
Poids: environ 5 Kg Câble: 12 m

Existe en blanc, bleu, vert, rouge ou multicolore: (Se référer au tarif).

Nos haut-parleurs sous-marins sont conçus pour être connectés à toutes chaînes HI-FI traditionnelles de puissance 60 W / **8Ω** maxi par haut-parleur.

Conformes aux normes suivantes:

Article 14, 2, 8 NF-EN 60 529-1992-IPX8-Article 4, 13, 1-EN 60 598-1-1993-Article 9, 3, 10-EN 60 065-1993 & H07RNF. Certifié LCI.



Très IMPORTANT: Vérifiez sous l'eau le bon mixage qui variera en fonction de la source et de la dynamique de l'enregistrement utilisée.

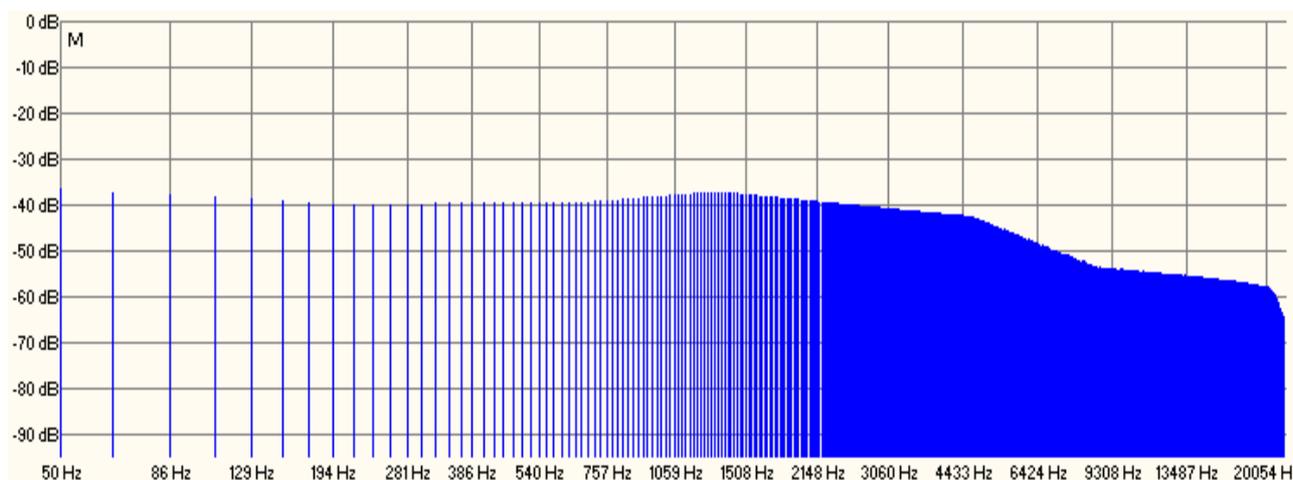
Réalisez les tests d'acoustique du bassin avec une dizaine de musiques différentes.

Nous conseillons d'égaliser de la manière générale suivante: AIGUS à 2 h - MEDIUMS à 12 h - GRAVES à 9 h

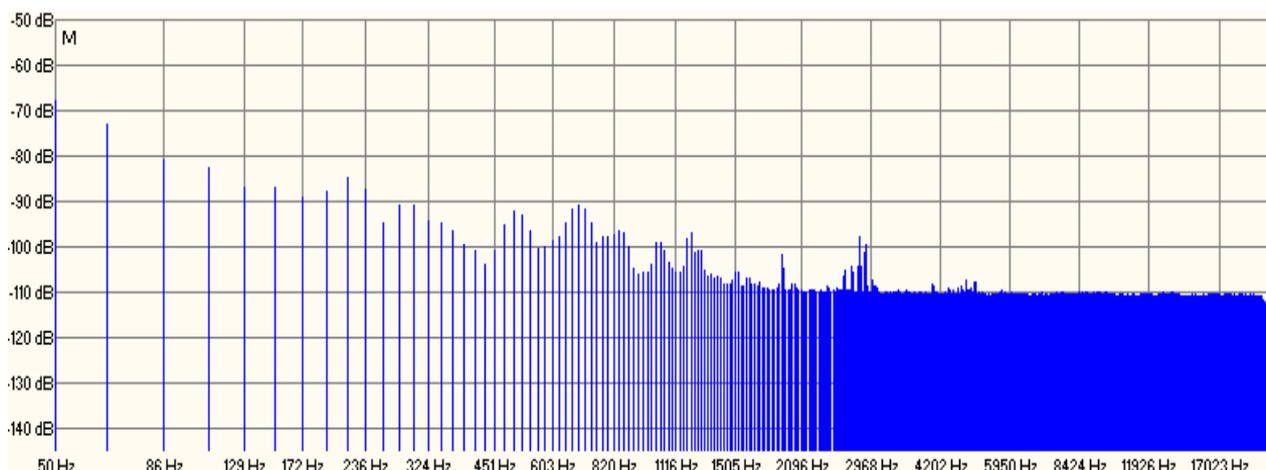
7.1.2.2 Conditions expérimentales

Trois haut-parleurs de type H062m ont été mesurés le 29 septembre 2008 dans le bassin d'essai du laboratoire IFREMER à la Seyne-sur-Mer, près de Toulon. Ils seront nommés par la suite HP1, HP2 et HP3.

Le bassin d'essai est une fosse de 10 mètres sur 15 avec une profondeur de 6 mètres. Un amplificateur de marque Faze a été utilisé (la réponse en fréquence a été mesurée en sortie pour évaluer la contribution de l'ampli dans la chaîne audio). Pour toutes les mesures, les réglages de l'amplificateur sont identiques. Un hydrophone B&K 8103 a été utilisé pour ces mesures. Le signal excitateur est un sweep de 30 secondes généré par Altiverb, comme pour les mesures dans la piscine Mathis.



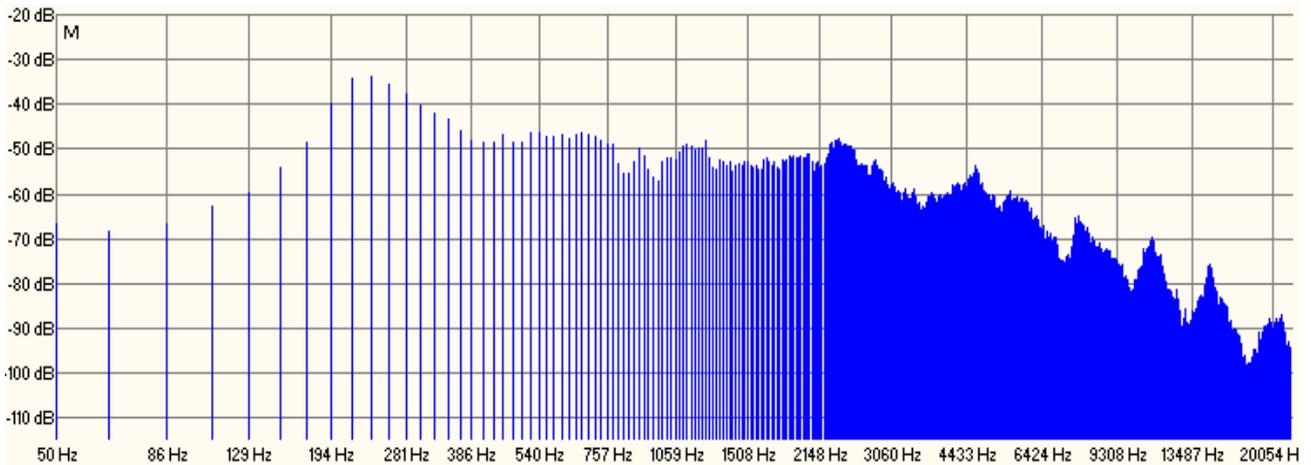
FFT du sweep après d'amplification



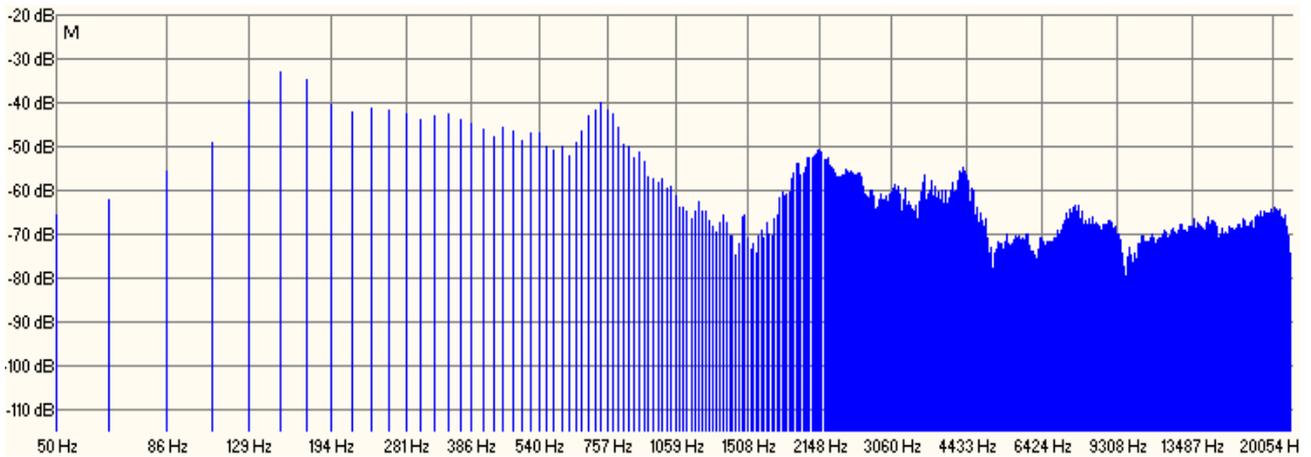
FFT du bruit de fond dans le bassin d'essai

7.1.2.3 Réponses en fréquence

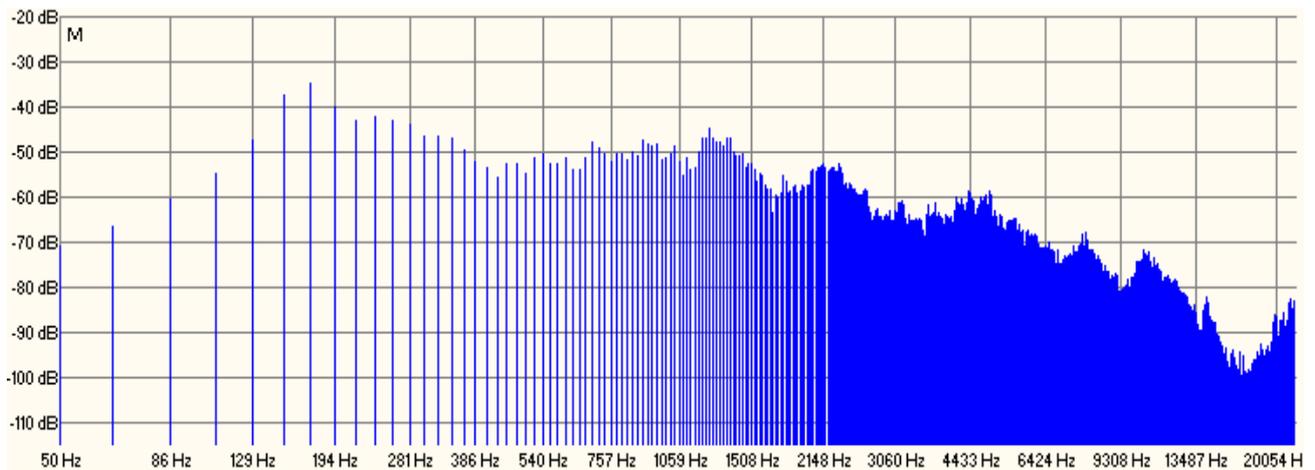
Les mesures sont prises à un mètre du haut-parleur, à 2m 50 de profondeur.



HP1 à 1mètre dans l'axe



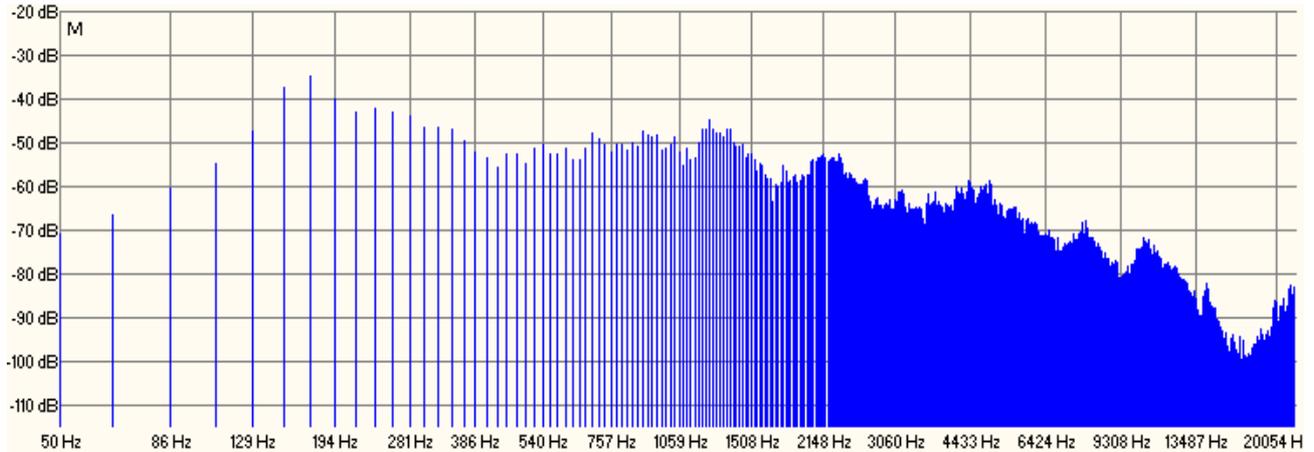
HP2 à 1 mètre dans l'axe



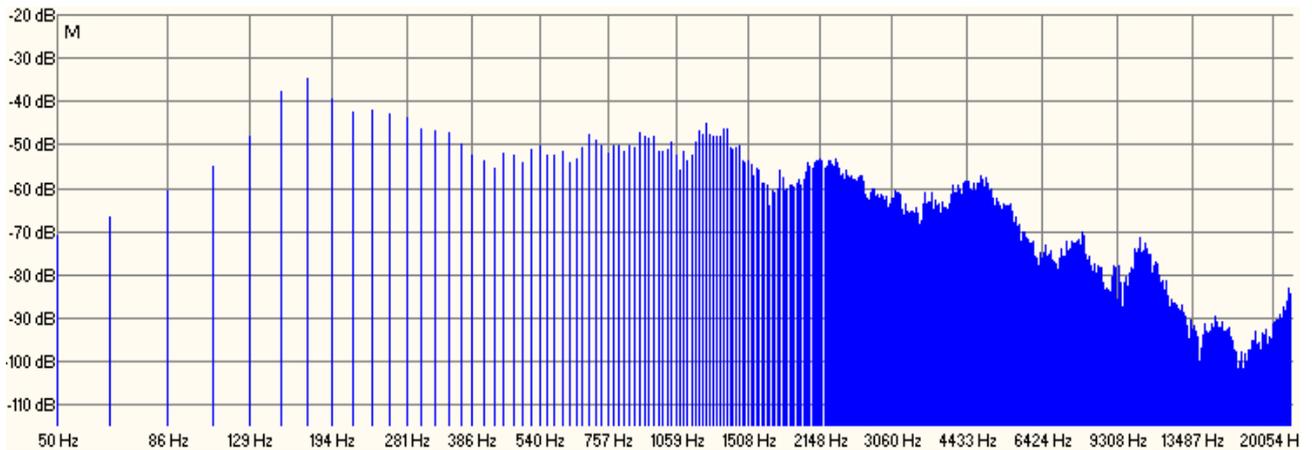
HP3 à 1 mètre dans l'axe

7.1.2.4 Directivité

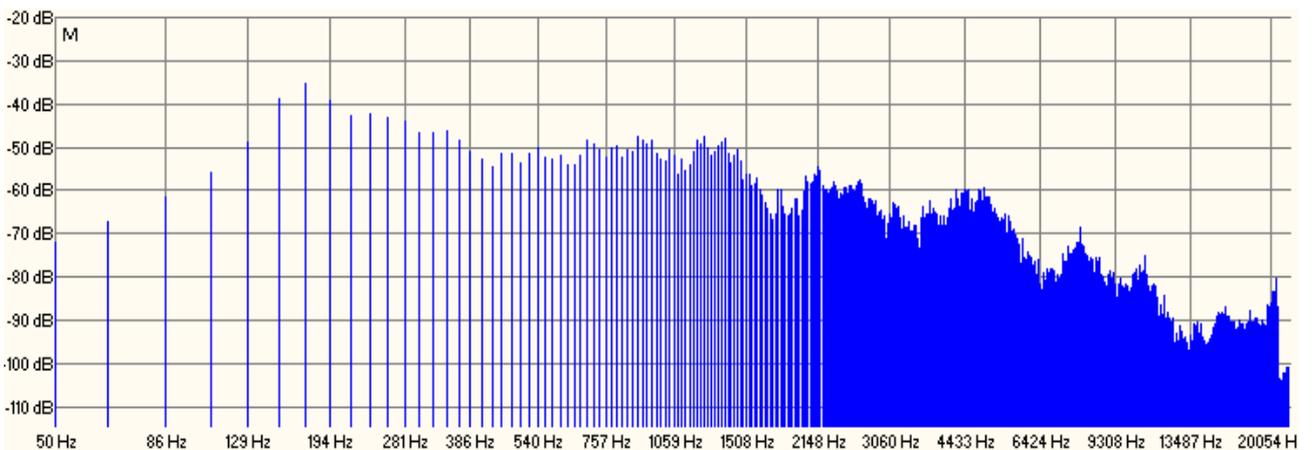
C'est le HP3 qui est représenté ici. Les mesures sont effectuées à 0°, 45° et 90° à 1 mètre.



HP3 à 1 mètre dans l'axe



HP3 à 1 mètre à 45°



HP3 à 1 mètre à 90°

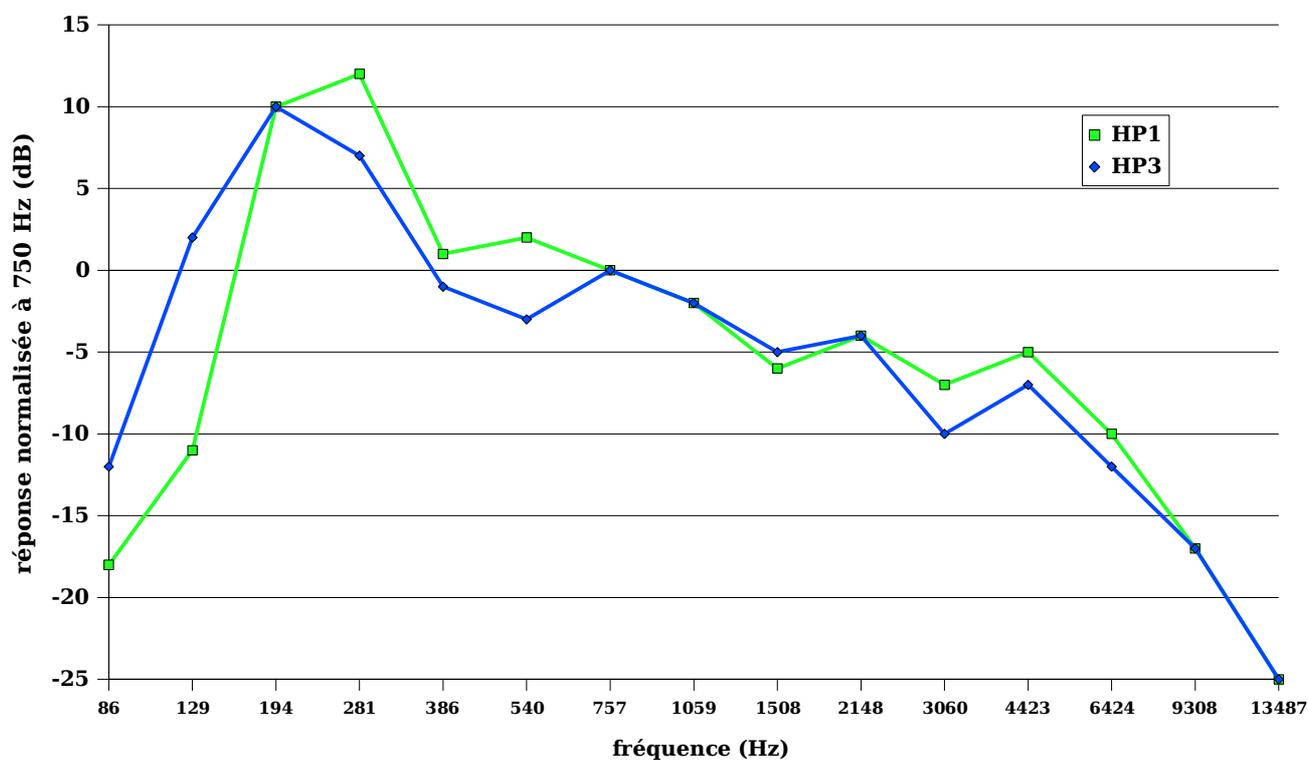
7.1.2.5 Discussions

Les trois premiers modes axiaux de ce bassin sont aux fréquences 50 Hz, 75Hz et 135 Hz et ils n'apparaissent pas sur les courbes de réponse. Les fréquences 50Hz et 75Hz sont en dessous de la bande passante des haut-parleurs, et la fréquence de 135 Hz (correspondant à la profondeur d'eau de 5,50m) n'apparaît pas.

De plus, le bassin se situe à proximité de la mer et est construit dans une terre gorgée d'eau, ce qui laisse supposer que la transmission des ondes dans le sol se fait assez bien. Il est donc bien ancré et a une activité vibratoire moins importante que le bassin de la piscine Mathis. Le bassin peut être considéré comme relativement neutre, avec une « empreinte acoustique » faible (cf hyp n°2 page 59) et les courbes de réponse mesurées sont donc imputables en grande partie aux haut-parleurs.

Les mesures sont assez différentes d'un haut-parleur à l'autre, notamment le HP2. Les HP1 et 3 sont plus proches, et leurs courbes de réponse réelles (après compensation par rapport à la sortie de l'amplificateur) sont exposées ci-dessous :

Réponses réelles des HP 1 et 3



De 350Hz à 5kHz, les points restent dans une fourchette de 10 dB, par contre les deux haut-parleurs ont une bosse de présence dans le bas médium (entre 100 et 300Hz) et ont une perte prononcée dans les aigus (-12 dB par octave à partir de 5kHz) avec des pics (+10dB) à 8k, 11k et 15kHz..

On remarque enfin que les haut-parleurs sont peu directifs dans le plan horizontal : les courbes dans l'axe, à 45° et à 90° sont quasiment identiques.

7.2 Disques d'écoute

7.2.1 Pour le 22 février 2008

| CD D'ÉCOUTE | TRACK |
|---|---|
| <p>Ecoutes Première Partie RESSENTI PHYSIQUE / RENDU SPECTRAL / POSITION D'ÉCOUTE</p> <p>Chant du Rossignol-Stravinski All I Need-Air Voix Parlée-Recette des truffes au chocolat Blue in Green-Miles Davis Three Little Birdies-Chemical Brothers</p> | <p>8 9 10 11 12</p> |
| <p>Ecoutes Deuxième Partie ETUDE DU CHAMP ACOUSTIQUE / POINT D'ÉCOUTE</p> <p>Passion selon St Matthieu-Bach Tell It Like It Is-Art Blackey</p> | <p>13 14</p> |
| <p>Ecoutes Troisième Partie LOCALISATION STEREOPHONIQUE</p> <p>Premier espacement d'enceintes Back In Black-AC/DC Symphonie n°3-Honnegger, écoute aléatoire G/D (4 chgmts) (pause) Symphonie n°3-Honnegger Maracas n°1</p> <p>Deuxieme espacement d'enceintes Back In Black-AC/DC Symphonie n°3-Honnegger, écoute aléatoire G/D (4 chgmts) (pause) Symphonie n°3-Honnegger Maracas n°2</p> | <p>15 16 16 17</p> <p>18 19 19 20</p> |

7.2.2 Pour les autres séances

Pour les deux dernières séances, les morceaux de la dernière partie étaient mono pendant 45 secondes, puis les mêmes extraits étaient diffusés en stéréo pendant encore 45 secondes.

| CD D'ÉCOUTE | TRACK |
|---|------------------|
| Ecoutes Première Partie | |
| Gustav Holst – Mars, Les Planètes | 1 |
| Sting – Hounds of Winter | 2 |
| Chant Grégorien – La tradition du chant grégorien | 3 |
| Laurent De Wilde – Moaning | 4 |
| Ecoutes Deuxième Partie | |
| Vivaldi – Griselda | 5 |
| Michel Camillo – One More Once | 6 |
| Ecoutes Troisième Partie | |
| Brad Mehldau – Blackbird VO | 7 |
| Brad Mehldau – Blackbird HC | 8 |
| Brad Mehldau – Blackbird LC | 9 |
| Stravinski – Le Chant Du Rossignol HC | 10 |
| Stravinski – Le Chant Du Rossignol VO | 11 |
| Stravinski – Le Chant Du Rossignol LC | 12 |
| Ecoutes Dernière Partie | |
| Dialogue Gauche/Droite | 13 |
| Mediterranean Sundance – Di Meola, Di Luca, Mc Laughlin | 14 |
| Nancy Sinatra – Bang Bang | 15 |
| Chemical Brothers – Lost in the K-Hole | 16 |
| Gustav Holst – Mars, Les Planètes | 17 |
| Bonus | |
| Chant Grégorien – La tradition du chant grégorien | 18&19 |

7.3 Questionnaires

7.3.1 Pour le 22 février 2008

**Ecoutes Subaquatiques
22 février 2008 Piscine Mathis**

Questionnaire à remplir par chaque participant

| | |
|--------------|-----------------|
| NOM : | PRENOM : |
|--------------|-----------------|

Première Partie :

Vous allez entendre **5 extraits de 1min30 environ** diffusés dans l'ordre suivant :

Classique / Electro / Voix Parlée / Jazz / Techno

Pour cette première familiarisation, il vous est demandé de réfléchir aux points suivants : **RESSENTI PHYSIQUE / RENDU SPECTRAL / POSITION D'ECOUTE**

Vous pouvez circuler dans le bassin, n'hésitez pas à utiliser les accessoires qui sont à votre disposition. Ensuite veuillez répondre aux questions suivantes :

Quelles sont vos premières sensations, vos impressions générales ?

Comment pouvez-vous décrire le rendu spectral et la restitution des timbres ?

Trouvez-vous que certains extraits sont restitués moins bien que d'autres ?

oui

non

Si oui, quels sont les extraits qui ont le moins bon rendu ?

Classique

Electro

Voix parlé

Jazz

Techno

Quelle est votre position d'écoute préférée ?

Si elle est différente, quelle est celle qui donne la meilleure écoute ?

Pour la voix parlée, avez-vous compris :

Tout Presque tout Pas grand-chose Rien

Deuxième Partie :

Vous allez maintenant écouter **2 extraits**, le premier de musique classique, et le deuxième de jazz. Il vous est maintenant demandé de prêter attention aux notions de **champ proche et champ lointain de distance critique**, et de manière plus générale à **l'acoustique du bassin**.

Par analogie avec le modèle aérien, nous avons placé **trois balises** : une dans le champ proche, une au « point d'écoute » stéréophonique classique, et une en champ lointain. **Vous pouvez vous déplacer librement entre ces trois points**. Après les écoutes, veuillez s'il vous plaît répondre aux questions ci-dessous :

Peut-on adapter la théorie aérienne sous l'eau, et considérer qu'il y a un champ direct et un champ réverbéré ?..... oui non

Pouvez-vous caractériser l'acoustique du bassin ?

Seriez-vous capables de déterminer une distance critique, où les énergies directes et réverbérées sont équivalentes ?..... oui non

Si oui, plutôt vers quelle balise ?.... .. proche point d'écoute lointain

Si vous souhaitez affiner...

Où se situerait pour vous un point d'écoute optimal ?

Est-ce que la présence d'autres personnes dans le bassin modifie votre perception, notamment quand quelqu'un passe entre vous et les enceintes ?..... oui non

Avez-vous d'autres remarques ?

Troisième Partie

Vous allez maintenant participer à quelques tests de **localisation**.

Ce dernier test va se dérouler en deux phases, avec chacune un espacement d'enceintes différent.

Les extraits peuvent être passés plusieurs fois car il vous est conseillé de vous placer dans le champ direct des enceintes.

- Le premier extrait sera du **rock** (pour varier les plaisirs), il vous sera demandé de dire si vous **localisez dans le plan horizontal**
- Le deuxième, un extrait **classique**, où nous allons diffuser uniquement **gauche/droite** avec 4 changements. Type de réponse souhaité : G G D G ou D ? G ?
- Le troisième extrait est le même que le précédent, en stéréo, afin de voir si vous percevez des **plan sonores**, et si vous arrivez à vous représenter mentalement l'orchestre.
- Enfin, un petit parcours de **maracas** vous sera proposé, comme dans le deuxième extrait essayez de le mémoriser...

Premier espacement d'enceintes

AC/DC : Pouvez-vous donner des éléments de localisation ?

Connaissez-vous ce mix auparavant ? oui non

Extrait symphonique G/D :

Extrait symphonique stéréo, percevez-vous des plans sonores ?

Extrait de maracas :

Deuxième espacement d'enceintes

AC/DC : Pouvez-vous donner des éléments de localisation ?

Connaissez-vous ce mix auparavant ? oui non

Extrait symphonique G/D :

Extrait symphonique stéréo, percevez-vous des plans sonores ?

Extrait de maracas :

Avez-vous des remarques générales pour finir ?

Voilà, c'est fini ! Merci beaucoup. Les organisateurs du test reconnaissent leur responsabilité en cas de rhume mais vous conseillent de bien vous couvrir en sortant !

7.3.2 Pour le 13 et 14 mars 2008

Ecoutes Subaquatiques 13&14 Mars 2008 - Piscine Mathis

Questionnaire à remplir par chaque participant

| | |
|--------------|-----------------|
| NOM : | PRENOM : |
|--------------|-----------------|

Etes-vous ingénieur du son (ou en formation) ?..... oui non
Vous sentez-vous comme un poisson dans l'eau ? oui ça peut aller pas vraiment

Première Partie :

Vous allez entendre **4 extraits de 1min30 environ** diffusés dans l'ordre suivant :

Classique / Variété / Chant Grégorien / Electro

Pour cette première « mise en eau », il vous est proposé plusieurs accessoires (**sièges, tubas masques...**). N'hésitez pas à vous déplacer dans le bassin et à essayer diverses positions d'écoute. Pour ceux qui sont à l'aise dans l'eau, un petit tour au fond de l'eau vous est recommandé.

Il vous est demandé de réfléchir aux points suivants : **RESSENTI PHYSIQUE / RENDU SPECTRAL ET MUSICAL**. A la fin de cette première série d'écoute, veuillez répondre aux questions suivantes :

Quelles sont vos premières sensations, vos impressions générales ?

Comment pouvez-vous décrire le rendu spectral et la restitution des timbres ?

Trouvez-vous que certains extraits sont restitués moins bien que d'autres ?.
 oui non

Si oui, quels sont les extraits qui ont le moins bon rendu ?

Symphonique Pop Chant Electro

Pouvez-vous expliquer pourquoi ?

Deuxième Partie

Vous avez peut-être remarqué que **l'acoustique du bassin est quasiment inaudible**, mais que cependant la qualité sonore augmente lorsque l'on se rapproche des enceintes et de leur axe de directivité. Il vous est donc proposé pour les prochaines écoutes de rester vers le milieu du bassin, entre les deux enceintes. Cette partie va traiter de l'**HOMOGENEITE DU BASSIN**.

Vous allez maintenant entendre **2 extraits de 30s chacun (classique puis jazz latino)**.

Il vous est demandé de prêter attention aux **modifications spectrales en fonction de la profondeur à laquelle vous écoutez, et de l'éloignement par rapport à l'axe des enceintes**. Dans un deuxième temps, il vous est demandé de faire la même étude mais avec un autre placement d'enceintes. Après les écoutes, veuillez s'il vous plaît répondre aux questions ci-dessous :

Percevez-vous des différences entre une écoute en surface et une écoute au fond du bassin. Si oui, lesquelles ?

La position des enceintes en hauteur a-t-elle une influence sur ces éventuelles différences ?

Quelle est votre position d'écoute préférée ?..... Au fond A la surface
Quelle est la meilleure position d'enceintes ?..... Au fond A la surface

Percevez-vous une éventuelle directivité des enceintes ? Pouvez-vous évaluer un angle de directivité ?

Troisième partie

Vous allez entendre trois fois le même extrait de jazz, puis trois fois un extrait de musique classique. Parmi les trois extraits, il y a la version originale et deux versions qui ont subi un traitement de **compression**, dans un ordre pris au hasard. Après écoute, veuillez répondre aux questions ci-dessous :

Etes-vous capables de classer ces extraits de l'original au plus compressé ? (notez de 1 à 3)

Jazz :..... Extrait 1 Extrait 2 Extrait 3
Classique :... .. Extrait 1 Extrait 2 Extrait 3

Pensez-vous qu'il soit intéressant de compresser certaines musiques sous l'eau ?

Quatrième et dernière partie

Cette partie est une **ETUDE SUR LA LOCALISATION**

Le son subaquatique est perçu dans la tête, et donc de façon mono.

Néanmoins, un précédent test a permis de montrer qu'il était **possible de localiser dans les deux hémisphères du cerveau...** des sons très caractérisés Gauche/Droite.

Il vous est demandé, lors de ce dernier test, de vous placer à mi-distance entre les deux enceintes. Vous allez entendre des **extraits stéréo dans un ordre croissant de complexité**, et vous serez invités par la suite à dire les éléments de localisation que vous avez perçus. En cas de mono complète et désespérée, vous pouvez m'arrêter.

Pouvez-vous donner des éléments de localisation ?

Extrait
Guitaristes

Nancy Sinatra
Kill Bill

Chemical
Brothers

Mars
Gustav Holst

Avez-vous des remarques concernant la localisation ?

Pensez-vous qu'il peut être intéressant de localiser ?..... oui non

Avez-vous des remarques générales pour finir ?

Voilà, c'est fini ! Merci beaucoup. Les organisateurs du test reconnaissent leur responsabilité en cas de rhume mais vous conseillent de bien vous couvrir en sortant !

7.3.3 Pour le 20 mars 2008

Seule la quatrième partie exposée ici, a connu un petit changement. Les parties 1,2 et 3 sont les mêmes que pour le test précédent.

Quatrième et dernière partie

Cette partie est une **ETUDE SUR LA LOCALISATION**

Le son subaquatique est perçu dans la tête, et donc de façon mono.

Néanmoins, un précédent test a permis de montrer qu'il était **possible de localiser dans les deux hémisphères du cerveau...** des sons très caractérisés Gauche/Droite.

Il vous est demandé, lors de ce dernier test, de vous placer à mi-distance entre les deux enceintes. Vous allez entendre des **extraits stéréo dans un ordre croissant de complexité**, et vous serez invités par la suite à dire les éléments de localisation que vous avez perçus. **Chaque extrait dure 45s environ et est diffusé en mono, puis en stereo.**

Pouvez-vous donner des éléments de localisation ?

Extrait
Guitaristes

Nancy Sinatra
Kill Bill

Chemical
Brothers

Mars
Gustav Holst

Avez-vous des remarques concernant la localisation ?

Pensez-vous qu'il peut être intéressant de localiser, notamment dans le cas d'une écoute fixe dans une baignoire?..... oui non

Avez-vous des remarques générales pour finir ?

Voilà, c'est fini ! Merci beaucoup. Les organisateurs du test reconnaissent leur responsabilité en cas de rhume mais vous conseillent de bien vous couvrir en sortant !

7.3.4 Pour le 21 mars 2008

Ecoutes Subaquatiques 21 Mars 2008 - Piscine Mathis

Questionnaire à remplir par chaque participant

| | |
|--------------|-----------------|
| NOM : | PRENOM : |
|--------------|-----------------|

Etes-vous ingénieur du son (ou en formation) ?..... oui non
Vous sentez-vous comme un poisson dans l'eau ? oui ça peut aller pas vraiment

Première Partie :

Vous allez entendre **4 extraits de 1min30 environ** diffusés dans l'ordre suivant :

Classique / Variété / Chant Grégorien / Electro

Pour cette première « mise en eau », il vous est proposé plusieurs accessoires (**sièges, tubas masques...**). N'hésitez pas à vous déplacer dans le bassin et à essayer diverses positions d'écoute. Pour ceux qui sont à l'aise dans l'eau, un petit tour au fond de l'eau vous est recommandé.

Il vous est demandé de réfléchir aux points suivants : **RESSENTI PHYSIQUE / RENDU SPECTRAL ET MUSICAL**. A la fin de cette première série d'écoute, veuillez répondre aux questions suivantes :

Quelles sont vos premières sensations, vos impressions générales ?

Comment pouvez-vous décrire le rendu spectral et la restitution des timbres ?

Trouvez-vous que certains extraits sont restitués moins bien que d'autres ?.

oui non

Si oui, quels sont les extraits qui ont le moins bon rendu ?

Symphonique Pop Chant Electro

Pouvez-vous expliquer pourquoi ?

Deuxième Partie

Vous avez peut-être remarqué que **l'acoustique du bassin est quasiment inaudible**, mais que cependant la qualité sonore augmente lorsque l'on se rapproche des enceintes et de leur axe de directivité. Il vous est donc proposé pour les prochaines écoutes de rester vers le milieu du bassin, entre les deux enceintes. Cette partie va traiter de l'**HOMOGENEITE DU BASSIN**.

Vous allez maintenant entendre **2 extraits de 30s chacun (classique puis jazz latino)**.

Il vous est demandé de prêter attention aux **modifications spectrales en fonction de la profondeur à laquelle vous écoutez, et de l'éloignement par rapport à l'axe des enceintes**. Dans un deuxième temps, il vous est demandé de faire la même étude mais avec un autre placement d'enceintes. Après les écoutes, veuillez s'il vous plaît répondre aux questions ci-dessous :

Percevez-vous des différences entre une écoute en surface et une écoute au fond du bassin. Si oui, lesquelles ?

La position des enceintes en hauteur a-t-elle une influence sur ces éventuelles différences ?

Quelle est votre position d'écoute préférée ?..... Au fond A la surface

Quelle est la meilleure position d'enceintes ?..... Au fond A la surface

Troisième partie

Cette partie est une **ETUDE SUR LA LOCALISATION**

Le son subaquatique est perçu dans la tête, et donc de façon mono.

Néanmoins, un précédent test a permis de montrer qu'il était **possible de localiser dans les deux hémisphères du cerveau...** des sons très caractérisés Gauche/Droite.

Il vous est demandé, lors de ce dernier test, de vous placer à mi-distance entre les deux enceintes. Vous allez entendre des **extraits stéréo dans un ordre croissant de complexité**, et vous serez invités par la suite à dire les éléments de localisation que vous avez perçus.

Un premier dialogue gauche/droite de 20sec vous est proposé. Faites juste un signe désespéré si vous ne percevez pas de stéréo. Ensuite, vous allez entendre 4 extraits de **45s environ diffusés en mono, puis en stereo**.

A la fin des écoutes, veuillez s'il vous plaît répondre aux questions de la page qui suit :

Pouvez-vous donner des éléments de localisation ?

Extrait
Guitaristes

Nancy Sinatra
Kill Bill

Chemical
Brothers

Symphonique
Gustav Holst

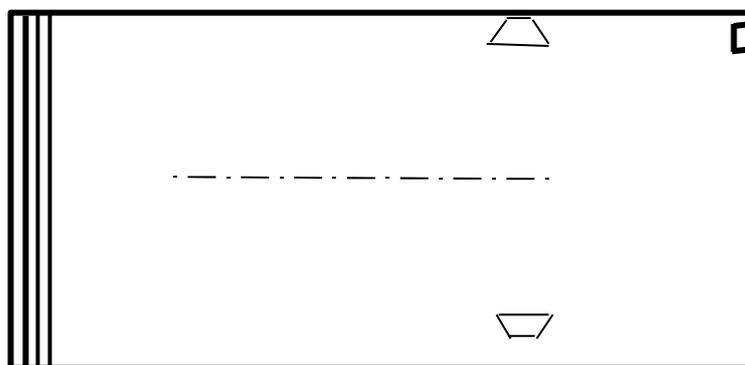
Avez-vous des remarques concernant la localisation ?

Quatrième et dernière partie

Il vous est maintenant demandé **choisir une position d'écoute optimale** par rapport à un placement d'enceintes donné.

Il s'agirait d'une **position le long de l'axe médian** de la piscine qui serait pour vous un bon compromis entre localisation et confort d'écoute (notamment si vous estimez qu'une stéréo à 180° demande trop d'efforts). Vous pouvez aussi décider de rester au centre de l'axe des enceintes. Les morceaux proposés sont les mêmes que ceux de la partie précédente, mais directement en stéréo.

Pouvez-vous positionner à l'aide d'une croix un point d'écoute préférentiel ?



Avez-vous des remarques générales pour finir ?

7.4 Réponses des sujets

Les réponses de chaque participant sont exposées ici. D'une part, il aurait été difficile de mettre chaque questionnaire en entier (150 pages en tout), et d'autre part l'écriture manuscrite ainsi que certaines allusions auraient nuit à l'anonymat de certains. Les réponses sont donc triées par questions, indépendamment de chaque questionnaire, et chaque participant est appelé « sujet N », N allant de 1 à 41. L'ordre chronologique de passage est respecté, ce qui donne la répartition suivante:

| | |
|-----------------|----------------|
| 22 février 2008 | Sujets 1 à 11 |
| 13&14 mars 2008 | Sujets 12 à 24 |
| 20 mars 2008 | Sujets 25 à 30 |
| 21 mars 2008 | Sujets 31 à 41 |

7.4.1 Ressenti Physique/Rendu spectral et musical

Questions:

Quelles sont vos premières sensations, vos impressions générales?
Comment pouvez-vous décrire le rendu spectral et la restitution des timbres?

Sujet 1: Qualité bien supérieure à celle que j'imaginai. Extraits très reconnaissables. La conduction osseuse donne un ressenti très étrange, ainsi que la localisation qui n'est pas possible. Rendu différent selon la profondeur à laquelle on se trouve. Restitution des timbres: est dans la plupart des cas très reconnaissable, également en classique, jazz, plus compliqué sur les sons électro. Voix parlée très audible, on reconnaît même la personne qui parle. Rendu spectral: difficilement descriptible, meilleures sensations dans le grave.

Sujet 2: Ca marche!! De la douceur, pas d'agressivité. « son téléphonique », gêné par les bruits ambiants. Bande passante de téléphone?

Sujet 3: Ecoute agréable, la son est mono dans la tête. En surface (méthode d'écoute plus simple) les graves et les médiums sont très filtrés.

Sujet 4: Physiquement, le fait de devoir rester la tête bien immergée n'est pas super confortable pour moi... mais:

- le bruit du tuba est gênant
- le fait de n'entendre vraiment que la musique diffusée est très agréable, sensation d'immersion totale.

Spectralement: assez déséquilibré, bosse vers 100 (dimensions de la piscine peut-être). Il manque le haut évidemment...& pas mal de bas aussi. Impression qu'au fond c'est mieux (que la surface est plus « médiums »). Il y a un temps d'adaptation (1 ou 2 extraits). Pas de sensation de localisation.

Sujet 5: Etonné, je ne pensais pas qu'on percevait un spectre si large. L'image stéréo me semble inexistante. Tout est localisé à l'intérieur de la tête. Impression

générale excellente. C'est énorme, Etienne t'es le meilleur.

Bande passante réduite. Bcp de basses lorsqu'on est en contact avec le fond du bassin. Peu d'aigus, impression qu'on écoute derrière une porte..

Sujet 6: Le son n'est pas très fort. Les basses sont désagréables surtout (air et le jazz). Globalement, c'est agréable et relaxant d'avoir cette musique sous l'eau. Rendu spectral: gêne dans les basses qui sont fortes par rapport aux autres sons, on a la sensation que le haut du ventre résonne. Les timbres sont bien reconnaissables.

Sujet 7: Expérience agréable, « bonne » diffusion mais pas homogène, en fonction de la localisation (profondeur), et de la hauteur d'eau. Phénomènes bizarres dans les coins. Rendu spectral inégal ++ dans le haut médium et aigus. Surtt pour les basses (Ø pour le classique), présente pour electro et techno: agressivité très proche du fond.

Sujet 8: Ecoute agréable, assez naturelle. Les sons sont « à l'intérieur de la tête » et l'écoute globale fait penser à une écoute au casque. Les bosses qui cognent sont bien ressenties physiquement! C'est plutôt agréable, à voir si ce n'est pas fatiguant à long terme. Etonant aussi: on perçoit très bien la reverb originale, beaucoup beaucoup plus qu'en écoute aérienne, c'est surprenant. Spectre variable selon la profondeur au niveau des basses: proche de la surface on en perd. Médium grave un peu absent.

Sujet 9: C'est agréable d'écouter de la musique sous l'eau, mais cette ambiance semble assez incontrôlable en localisation. Les timbres sont extrêmement changés. Assez reverb « plate »

Sujet 10: Comme au casque, écoute interne, à l'intérieur de la tête. J'entend mieux les oreilles bouchées (ou alors c'est que j'atténue la conduction osseuse en pressant le crâne...) (rendu spectral et restitution des timbres) Pas mal! je trouve que les basses ont du mal à être présentes (on n'a pas le ressenti du choc, comme avec un sub). C'est assez fin mais semble toujours un peu lointain (niveau?)

Sujet 11: Jue suis surprise par autant d'intelligibilité, d'aiguës... etc. Par contre on ressent la musique dans tout notre corps. C'est assez désagréable à fort niveau (techno) (on se demande si le coeur ne fait pas n'importe quoi) on sent que ça ne passe pas forcément par les oreilles car lorsqu'on met la tête hors de l'eau, on n'entend plus mais on sent. Intelligibilité, suffisamment d'aigu pour un son correct. Par contre les graves sont BEAUCOUP trop forts. (tessiture de la contrebasse) et du coup c'est insupportable. En gros ça manque de médium.

Sujet 12: C'est surprenant, on a l'impression d'écouter au casque. L'image a l'air centrale et quand je tourne sur moi-même, je n'ai pas la sensation d'avoir le son qui tourne... Super sur le kick de Sting. J'ai l'impression que c'est un peu « trop » doux dans l'aigu. La zone basse par contre dépend de la profondeur + que de l'endroit o on se trouve dans la piscine. C'est agréable de façon générale.

Sujet 13: Ecoute assez facile et agréable. De grandes différences de timbre, d'intensité et de ressenti physique (vibrations sur le corps) selon la position dans le bassin: très intéressant. Le grace très « bouilli » à la surface de l'eau et en règle générale partout dans le bassin, excepté à proximité du fond et le long des côtés (murs). Les aigus et le ht med se transmettent beaucoup mieux. Les caractéristiques de rythme et des instruments se distinguent de moins en moins bien en s'éloignant des HP.

Sujet 14: Terrible. Bravo pensait pas que ça pouvait marcher aussi bien!! En surface « nasillard » le mieux: dans le fond, coins de la piscine +grave (dès qu'on est près d'une paroi!! le meilleur rendu spectral: totalement immergé et = on veut du grave, plus on se rapproche du fond.

Sujet 15: Sensations agréables mais déroutantes: pas de source précise (sauf très près des enceintes). Le son entoure. Variations en fonction de la profondeur. Bande passante limitée, les transitoires sont écrasées (sensible sur le classique). Rendu inhomogène selon la position dans l'eau.

Sujet 16: Sensations agréables!! Entourée de musique, sans pour autant ressentir précisément sa provenance (à moins d'être proche des HP) On reconnaît aisément le genre musical, néanmoins: par exemple les basses et les sons percussifs du morceau de variété passent aussi par des sensations physiques, et sont rendus bcp + important que les autres composantes du morceau. Intelligibilité des voix moyenne... Dans l'ensemble: précision moyenne (que ce soit des paroles ou des jeux instrumentaux).

Sujet 17: C'est agréable. Au fond on ressent mieux les basses. A la surface c'est plus équilibré, moins de niveau. Hors de l'eau on perçoit surtout les basses physiquement par le corps resté dans l'eau. La variété et l'électro passent mieux: sons = courts, percussifs, rythmés: rendu moins flou. Rendu spectral: + on va au fd = on perçoit les basses. Ds l'eau à la surface on entend que les aigus, on ressent les basses aussi physiquement. Les timbres sont bien conservés pas de sensations désagréables (à la surface l'image sonore est moins bien définie).

Sujet 18: Wahou! Etrange sensation que cette omniprésence du son quelle que soit la direction dans laquelle on écoute: il est en nous. (d'ailleurs on l'entend aussi oreilles bouchées) Localisation intérieur du crâne. Très variable en fonction de l'endroit:

- pas de basses et de médium en surface
- augmentation de la bande passante si on va plus en profondeur, qui va jusqu'à une très bonne restitution des basses... Fréquence de coupure 100 Hz environ?

Sujet 19: Agréable et surpris en bien par la qualité globale de restitution « propre ». Aigu clair mais peut faire un peu penser au résidu de son entendu l à l'extérieur d'un casque. Quand trop de grave, peut être agressant physiquement. Bonne perception des reverbs. Bas et bas médium pas précis, voire même bourdonnant et gênant physiquement. Médium en retrait. Aigu présent précis et plutôt agréable.

Sujet 20: C'est original et amusant de pouvoir écouter de la musique sous l'eau. Mauvais voire médiocre dans le bas du spectre, myen – dans le médium. Aigus: myen, dépend de l'emplacement ds la piscine. Violon peu audible ou uniquement en attaque franche. Instruments sonores tels que la trompette passent assez bien.

Sujet 21 : Agréable, le son est audible. On perçoit les ondes au maxi lorsqu'on est entre les haut-parleurs. Le son est clair, meilleur rendu au fond.

Sujet 22 : l'impression globale est la sensation d'homogénéité du volume. Lorsque l'on se déplace, l'amplitude change peu (sauf si on s'approche beaucoup des haut-parleurs évidemment). Une fréquence ressort dans les médiums (do au milieu du piano). Le son est assez sourd (peu d'aigu, et les basses gonflées).

Sujet 23 : Un son étouffé. Je pensais avoir une écoute plus claire. Pas de son régulier dans tout le bassin, pas de son englobant. L'intensité varie peu selon l'endroit de la piscine, en profondeur, mais de peu. De manière générale les basses sont très présentes excepté pour le morceau classique. Là où il y a peu d'eau, j'ai plus ressenti les vibrations.

Sujet 24 : J'imaginai que l'eau était l'endroit idéal pour écouter de la musique, malgré la double sensation auditive et celle des vibrations, j'ai trouvé que ça manquait de clarté. On entend bien plus les graves à la surface et la musique devient plus homogène en profondeur.

Sujet 25 : La sensation d'immersion est vraiment agréable. Sur le classique, brouillon dans le médium filtrage en peigne.

Sujet 26 : Impression générale agréable, comme un poisson. Spectre manquant beaucoup de médium. Basses augmentent en se rapprochant du fond. Mode audible dans le grave (surtout sur la basse variété).

Sujet 27 ; Surprenant, bonne surprise d'ailleurs... Sensation d'enveloppement entre les HP. Bon ressenti des basses, même avec la tête hors de l'eau. Timbre un peu déformé, devient plus nasal... Le timbre change selon la position d'écoute (entre les HP, en face, pas en face).

Sujet 28 : Sensations agréables des vibrations corporelles dues au son. Vibrations fortement ressenties au niveau des reins et des fesses. Manque de basse globalement. L'extrait du symphonique c'est catastrophique : timbres méconnaissables.

Sujet 29 : La musique est partout, et surtout dans la tête. Il n'y a que là où il y a très peu de fond (loin des enceintes) qu'on entend moins, et encore. Pas trop de remarques à faire pour le rendu spectral. Les aigus sont assez désagréables (oreilles qui « grésillent »). Les timbres semblent un peu « émoussés ».

Sujet 30 : On a une très bonne immersion, j'ai senti une petite différence en me bouchant les oreilles (un peu moins d'aigus). Bien mais on perçoit les résonances gênantes surtout sur le chant grégorien.

Sujet 31 : (deuxième impression) C'est toujours agréable, mais la 1ère surprise passée, le son est moins top... Très variable selon l'emplacement : près des enceintes beaucoup de grave qui traîne et bave entre les enceintes beau médium mais moins de grave et moins d'aigus (comme à travers une petite paroi).

Sujet 32 : Plus fort près des parois et au fond. Bonne température de l'eau, siège confortable, fil ennuyeux pour passer avec le tuba. Beaucoup de basses, surtout près des coquilles Saint-Jaques. Aigus bien rendus au niveau du timbre mais il faut les chercher. Reverb bien rendue pour le grégorien.

Sujet 33 : Le son est très « pur » (comme une écoute dans un casque). Surtout au fond du bassin. J'ai l'impression qu'il y a une légère distorsion.

Sujet 34 : Surprise. Agréable Détendant Envie de faire la planche et de rester immobile. Plongé dans la musique on n'entend pas du tout le bruit extérieur (il y a un groupe bruyant dans l'autre bassin). Etonnamment complet. J'ai l'impression de tout entendre, des basses aux aigus. Il me semble que ce qui passe le moins bien est le grave. Dans la musique classique, le vrombissement des violons n'est pas clairement audible et provoque un peu de saturation.

Sujet 35 : Sympa d'entendre la musique. Bien sûr pas d'image stéréo. Sonne pas très bon par contre. Sting marche très bien, Holst moche. Graves, à la proximité de l'enceinte, pas si t'es loin. A la surface, pop beaucoup des aigus, pas de fondement. Holst, beaucoup de rumble dans les graves ! Vers 1kHz, tout est plus fort, à la surface, son est « loin ».

Sujet 36 : Une sensation de gêne lors de l'audition des graves (cf sensation dans une boîte de nuit avec des basses surpuissantes). Spectral : graves surdimensionnés. Mediums assez bien définis, aigus relativement audibles. Timbres : instrumentaux amplifiés sonnent bien, mieux qu'acoustiques, et que la voix, les cuivres à l'orchestre sont toujours aussi présents...

Sujet 37 : Immersion géniale, + de bas au fond et médium bizarre en surface, Sting passe ++. Pb des oreilles. Oreilles bouchées : son filtré dans le bas, et aigus acides ! Le bas passe par les oreilles !

Sujet 38 : Je me sens bien. On entend très bien. On entend mieux près des enceintes. C'est agréable, surprenant. Globalement, c'est un peu assourdi (surtout les graves, par exemple dans l'électro) (même pour le chant grégorien...). On entend un peu moins les aigus ? La voix (pop) me semblait bien « rendue ». (pop= la mieux ?)

Sujet 39 : Classique : pas assez fort, difficile à dire. Le reste, cool ! Tjrs mono dans la tête. Le masque atténuerait-il la sensation ? (il comprime la tête donc amorti les vibrations). Les basses : impression de « saturation » au niveau des enceintes. L'aigu : s'amorti à mesure que l'on s'enfonce en profondeur : + haut = meilleur équilibre spectral. + bas = moins bon équilibre, peu de haut. Collé au sol = tout se brouille (ça se joue à qq centimètres). Les BF perception difficile de la hauteur, et manque la sensation de choc comme en sono.

Sujet 40 : Pas de sensation de localisation. « environnement sonore », pour moi, meilleures sensations sans masque ni accessoires, plutôt assez immergée (meilleur enveloppement), plus de basses au fond ? Rendu spectral frustrant sur la symphonie (manque de définition et de clarté des timbres) globalement, spectre assez bas-medium.

Sujet 41 : 1. Très agréable sur certains extraits. 2 Assez fatigant de rester assez de temps en apnée pour avoir le temps d'écouter. La bande passante est réduite en haut (& un peu en bas) Le bas tourne parfois. Timbres « pincés » dans le symphonique. Timbres agréables ds pop (par ex. la voix) & grégorien.

Question : Quelle est votre position d'écoute préférée ?
(22 fev. 2008)

Sujet 1 : Au fond contre le sol

Sujet 2 : Dans le plan des enceintes : grave et volume

Sujet 3 : Au fond du bassin, mais c'est difficile à tenir

Sujet 4 : Vers le fond car : plus de niveau, plus équilibré mais il faut bien se vider les poumons.

Sujet 5 : Plat ventre près du fond. Sensation physique. des basses

Sujet 6 : Allongé sur le dos à l'horizontale

Sujet 7 : Près du fond en eau peu profonde

Sujet 8 : Sur le ventre la tête bien immergée

Sujet 9 : Près des enceintes

Sujet 10 : N'importe, pourvu qu'on ne soit pas trop près d'une des deux enceintes par rapport à l'autre.

Sujet 11 : Assis par terre avec l'eau au niveau des oreilles

Question : Si elle est différente (de la position d'écoute), quelle est celle qui donne la meilleure écoute ?
(22 fév. 2008)

Sujet 1 : + de détails dans le fond mais pas la plus homogène

Sujet 2 : pas trop loin des enceintes

Sujet 5 : Plat ventre, 50 cm du fond

Sujet 10 : j'attends la suite...

Sujet 11 : la même

Question : Si certains morceaux sont moins bien rendus que d'autres, pouvez vous expliquer pourquoi ?

Sujet 12 : (Symphonique) Peut-être la dynamique. Comme ma nage était elle-même dynamique (je me suis pas mal baladé), je perdais un peu le fil.

Sujet 13 : (Pop) Une prédominance de HM&aigus dans les marqueurs de tempo (over head...), la voix est bien restituée.

Sujet 14 : (Symphonique, chant) moins bien mais ça marche quand même vachement. Trop grande dynamique, passage piano un peu flou. Peu de transitoires, ça définit moins bien. (sympho) trop d'instruments, on perçoit plus facilement si y a juste K+Sn+Bass+Gt+Voix. moins de choses qui s'entrelacent

Sujet 15 : (symphonique, chant) le fait d'entendre de fortes modulations du spectre est gênant sur le chant, et les transitoires manquent au classique.

Sujet 16 : (symphonique) Ts les instrus sont noyés (sans jeu de mot...), je perçois difficilement les différences de timbre globalement

Sujet 17 : (chant) les sons sont trop tenus, masse sonore pas bien définie, brouillée

Sujet 19 : (symphonique) manque de dynamique, médium en retrait, cordes notamment sonnent petit. (electro) bas gênant, trop inhomogène avec le reste du spectre

Sujet 20 : (symphonique, chant) pas vraiment, peut-être pourrait-on adapter les enregistrements pour le subaquatique adapter la dynamique (les - grdes possible) et les fréquences (pas trop de bas medium +de graves et + d'aigus.

Sujet 21 : (symphonique) Symphonie très douce, feutrée

Sujet 23 : (symphonique) trop de finesse dans l'interprétation ou trop de

complexité pour les instruments utilisés.

Sujet 26 : (symphonique, chant) Pas de sensation de salle, localisation intra crânienne.

Dynamique peu audible

Sujet 31 : (symphonique) trop de dynamique sur le classique, on n'entend correctement que les fortissimi.

Sujet 32 : (symphonique, chant) Parce que la pop et l'électro ont besoin de moins de précision dans le spectre car plus rythmique, et moins de dynamique globale. Les graves sont trop présents, grandes dynamiques (classique)

Sujet 34 : (symphonique, chant) je pense que les instruments se détachent d'avantage les uns des autres. il s'agit plus de sons séparés (que l'on reconnaît individuellement) que d'un ensemble sonore.

Sujet 35 : (symphonique) rumble dans les graves, on entend presque que du bruit. Quand ça devient fort on n'a aucune transparence.

Sujet 36 : (chant) rendu du timbre vocal beaucoup moins fidèle dans l'eau. Musique qui demande une plus grande finesse d'écoute.

Sujet 37 : (symphonique) il faut vraiment être dans un calme supérieur pour apprécier les nuances.

Sujet 38 : (electro) les sons dans l'eau sont « bizarres », (problème de timbre) le chant grégorien pas très clair...(en même temps c'est plus ou moins des fréquences et des timbres proches ?) (j'ai mal écouté l'extrait symphonique)

Sujet 39 : (symphonique) niveau (mastering ?)

Sujet 40 : (symphonique, électro) Peut-être lié aux habitudes d'écoute. On entend souvent du grégorien dans des grandes églises très réverbérantes, donc avec le même type de sensation d'immersion, et on écoute de la pop sur n'importe quel système d'écoute (enfin moi personnellement, donc je suis moins exigeante au niveau spectral que pour du symphonique par exemple.

Sujet 41 : (symphonique) + pop :des sons artificiels= moins déformés. Pas d'espace réel, pas de problème. – symphonique : n'était pas assez fort... Trop complexe et comme il n'y a plus d'espace tout se chevauche comme en mono. Timbres trop altérés. + chant : le signal est bien rendu fréquemment & il y a un espace (une reverb) qui rend assez bien dans ce cas là.

7.4.2 Acoustique du bassin/ Homogénéité

Question : Pouvez-vous caractériser l'acoustique du bassin ?

Sujet 1 : Je ne suis pas sûr d'arriver à différencier la part de responsabilité entre ma position d'écoute et l'acoustique du bassin, sur ce que je perçois dans l'eau. Je ne peux donc pas caractériser l'acoustique du bassin.

Sujet 2 : Relativement sec, mais de bonne qualité

Sujet 3 : le champ direct est bien perçu entre les enceintes, mais dès le triangle équilatéral, on a beaucoup de champ diffus.

Sujet 4 : En fait je ne perçois AUCUN espace. La seule « signature » du bassin est cette bosse vers 100Hz (aussi dans les médiums sur les chœurs de l'extrait classique c'était un peu désagréable). Tout ce que je perçois c'est : 1. un changement de niveau (+ près + fort). 2 ; une direction (perte du haut et du bas si je ne suis pas en face. Je ne perçois tellement aucun espace que si je suis loin, j'arrive à imaginer que les HP sont juste à côté de moi et moins fort.

Sujet 5 : Difficilement. On a une différence de niveau en fonction de la distance, et une différence de spectre (pertes de basses et d'aigus en s'éloignant).

Sujet 6 : Plus on va profond plus la sensation d'enveloppement est grande dans la zone « champ proche », on a des sortes de saturation sur les sons forts.

Sujet 7 : Acoustique inhomogène. Peu voir pas réverbérante.

Sujet 8 : Difficile, elle est assez neutre j'ai l'impression. Le son diffus manque juste de pêche et d'extrême graves aigus.

Sujet 9 : On a une acoustique qui ressemble un peu à une plate. C'est-à-dire : des aigus claquants et réverbérés assez fortement. Pas d'extrême basse, des basses plutôt colorées, tout comme l'ensemble du spectre.

Sujet 10 : Difficile, la vitesse du son dans l'eau est rapide... Cependant, il y a certains points qui marchent vraiment bien. Pas de notion de réverbération, mais de niveau oui.

Sujet 11 : Le rapport son direct son réverbéré ne varie à aucun moment. Par contre il y a des endroits où il y a globalement un peu plus de niveau.

Question : Avez-vous d'autres remarques ? (partie acoustique du bassin, 22 fév. 2008)

Sujet 1 : Questionnaire assez difficile, je répond par ressenti.

Sujet 2 : Il me faut plus de temps pour me faire une idée désolé.

Sujet 5 : L'extrait classique est déjà bien réverbéré, ne nous donne pas d'info sur l'acoustique du bassin. Ceci dit, je n'arrive pas à percevoir d'acoustique sur les autres extraits.

Sujet 8 : La perception change quand on tourne la tête dans le plan horizontal ou dans l'axe du corps. Par contre la localisation est très difficile voire impossible. J'ai perçu de fortes résonances dans le Bach (sur des fréquences de la voix, 2-4kHz). Je ne sais pas si elles viennent des enceintes, de l'acoustique du bassin ou autre.

Sujet 9 : Le son paraît plus grave au centre de la piscine (nœud de résonance ?) la perception solidienne du son est très agréable (vibration des basses dans la tête), et ne dépend pas trop de la position.

Sujet 10 : Etonnant, les bruits humains sont faibles par rapport à la musique !! (bruit de nage, d'eau etc...) Localisations sonnent vers le haut de la tête, un peu vers l'arrière (filtrage ?)

Sujet 11 : Les vaguelettes font de l'aigu en plus, pas autant que ce à quoi je m'attendais, mais quand même un peu. Pas eu le courage de regarder en profondeur,

du coup ce que je dis n'est valable qu'à proximité de la surface.

Question : Percevez-vous une différence entre une écoute en surface et une écoute au fond du bassin ?

Sujet 12 : Plus de basse au fond, plus naturel en surface (c'est moi qui suis au fond ou en surface)

Sujet 13 : Une écoute en surface est toujours moins précise et moins agréable qu'une écoute au fond. A la surface, l'éloignement par rapport à l'axe diminue très rapidement la bonne qualité d'écoute.

Sujet 14 : Surface : nasillard. La tête à 30 cm sous l'eau, bosse de 1 à 2kHz assez marquée. Au fond : bosse dans le grave.

Sujet 15 : Différences de spectre : + de basses au fond. Différences du niveau global.

Sujet 17 : A la surface, on perd des basses et de l'intensité : aigus agressifs. Tout au fond : excès de basses, résonances, vibrations

Sujet 19 : En surface, perte de médium et grave boueux. A mi-hauteur, plus équilibré, grave plus propre. Au fond, à nouveau grave boueux, sensation de plus de niveau, mieux qu'en haut, mais un peu comme si on était calé à un mur dans l'air

Sujet 21 : saturation des basses HP en surface et aigus atténués.

Sujet 22 : en surface, on est gêné par les « clapotis », alors qu'en immersion, forcément la restitution est sans parasite, par ailleurs, plus on s'approche du fond plus les graves prennent le dessus.

Sujet 23 : L'écoute est plus forte au fond du bassin. On perçoit mieux les basses (pour les morceaux salsa) et les aigus pour le classique.

Sujet 24 : oui pour le classique la musique est plus limpide, le rendu est plus proche d'une écoute en surface, avec le nid sonore que la piscine peut offrir

Sujet 26 : Nette différence au niveau des basses (+ de basses au fond) si les enceintes sont au fond (trop de basses même)

Sujet 27 : oui 1. Plus on va au fond, plus on arrive à s'affranchir du son extérieur. 2. plus de basses au fond en général.

Sujet 29 : oui, moins « agressif » comme son quand on est en surface, plus agréable. 2 remarques : 1 :le deuxième extrait rend beaucoup mieux que le premier (l'opéra sous l'eau, c'est bof). 2 : En surface on entend les bruits ambiants de la piscine (enfants) alors qu'on ne les entend pas du tout au fond.

Sujet 30 : Au fond on a plus de basses et le on est plus cohérent (en phase ?) En surface, on est un peu détimbré.

Sujet 31 : beaucoup plus de niveau et de grave au fond du bassin à condition d'équilibrer la pression des oreilles au fond !!!

Sujet 32 : + de basses au fond (trop qd enceintes au fond)

Sujet 33 : On entend un peu l'extérieur quand on est à la surface mais le son paraît plus clair, d'où senti plus de graves au fond du bassin.

Sujet 34 : Oui, son plus « plein », plus « enveloppant » en profondeur.

Sujet 35 : En bas il y a bien sûr des autres résonances (modes je crois)

Sujet 36 : L'écoute au fond avec compensation des tympons permet une meilleure définition, surtout dans le médium et l'aigu lorsque les enceintes sont à la surface.

Sujet 37 : En surface, toujours pb de réflexions des médiums. Au fond, équilibré mais manque de corps.

Sujet 38 : Au fond on entend plus fort, mais j'ai l'impression qu'on n'entend pas tout ? On avait un plus grand spectre plus en surface, mais on perd en « puissance ».

Sujet 39 : Le mieux, c'est quand on est placé à mi-hauteur (je l'ai déjà dit à sujet 41, mais il n'est pas d'accord)

Sujet 40 : Oui a priori plus de basses au fond du bassin, plus de définition en surface.

Sujet 41 : J'ai l'impression que lorsqu'on écoute vers la surface, il y a comme une sorte d'accentuation des modes dans les médiums (comme l'apparition d'une mini-acoustique, une réflexion peut-être).

Question : La position des enceintes en hauteur a-t-elle une influence sur ces différences ?

Sujet 12 : Complètement, effet tuning avec gros loudness (100-200 Hz) qd on est au fond, et en surface, le timbre est moins équilibré (médium 800 Hz renforcé)

Sujet 13 : Faiblement, le champ d'écoute entre les deux HP est plus localisé quand les HP sont en bas. Les localiser en haut n'améliore pas ce phénomène.

Sujet 14 : oui : le rendu des graves est beaucoup plus important avec les enceintes au fond du bassin mais c'est un peu moins défini.

Sujet 15 : oui : résultat plus homogène avec les enceintes en haut. Avec les enceintes en bas, forte différence spectrale entre haut et bas.

Sujet 16 : HP au fond : + grande homogénéité globalement, mais petite amélioration quand on est vers les 2/3 de la profondeur. Pas de préférence entre au fond et à la surface. HP en haut : Attaques molles et peu de précision quand on écoute à la surface. + on se rapproche du fond, + le son est précis et clair : + de dynamique, + de différence entre les sons.

Sujet 17 : Oui je trouve que les enceintes en hauteur augmentent la différence d'homogénéité du spectre et de l'intensité. Enceintes au fond : la musique paraît plus présente on est plus imprégné.

Sujet 18 : Oui a niveau de diffusion égal, le niveau m'a semblé plus important avec les HP posés au fond. Impression que la restitution est plus linéaire avec les HP en surface. Excitation de certains modes propres avec les HP posés au fond.

Sujet 19 : Meilleur équilibre avec les enceintes au fond, mais semble plus homogène hormis extrême grave avec les enceintes en haut.

Sujet 21 : Pour les aigus, meilleure perception. (au fond)

Sujet 22 : Les basses gonflées lorsque les enceintes sont au sol.

Sujet 23 : Oui , l'écoute est marquée par les basses, le son est plus diffus.

Sujet 24 : J'imagine que oui

Sujet 26 : Dans les basses en hauteur il manque ce tapis. Si enceintes en hauteur, les diff sont moins perceptibles entre une écoute surface et fond.

Sujet 27 : + de basses lorsque les enceintes sont au fond avec perte de medium lorsqu'on va au fond. Le son est plus précis lorsque l'on reste entre les enceintes dans leur axe de directivité.

Sujet 29 : Que les enceintes soient au fond ou en surface, c'est toujours au fon que le son est le plus fort. Par contre c'est possible que le son soit plus homogène lorsque les enceintes sont au fond (mais c'est très vague comme impression).

Sujet 30 : On entend plus les détails quand on est à la même hauteur que les enceintes

Sujet 31 : La position près de la surface me paraît plus homogène car le son est meilleur en surface. (au fond, c'est assez proche de la position au fond de l'eau).

Sujet 32 : Non, tjs plus de basses au fond, mais plus de basses globalement pour les enceintes au fond. (spectre petit pour une écoute surface (enceintes surface))

Sujet 34 : Oui, lorsqu'elles sont au fond du bassin, on a la sensation que le son est plus fort. J'ai trouvé les basses saturées

Sujet 35 : oui comme j'ai essayé de décrire en haut.

Sujet 36 : Oui, grande différence de rendu global des dynamiques pas musicales au fond (les enceintes), l'écoute est bien meilleure, mais les basses sont

surdimensionnées.

Sujet 37 : Carrément ! Enceintes au fond plus de niveau, notamment en écoutant en surface.

Sujet 38 : Enceintes en bas, on entend encore plus fort quand on est au fond, j'ai l'impression que les enceintes en surface améliorent la qualité (la puissance) de l'écoute en surface.

Sujet 39 : J'ai l'impression que ça change moins (que c'est plus homogène en fonction de la hauteur) avec les enceintes en bas, au fond mais bon.

Sujet 40 : J'ai eu l'impression qu'une position des enceintes au fond du bassin accentuait le côté « boumy ». Moins de définition et plus de basses globalement. (Mais c'est peut-être dans ma tête !!)

Sujet 41 : Difficile à dire, peut-être plus de basses qd les HP sont au fond : le son paraît alors moins medium...

Question : Percevez-vous une éventuelle directivité des enceintes ? Pouvez-vous évaluer un angle de directivité ?

Sujet 13 : HP près du fond du bassin je dirais un angle de 60° environ.

Sujet 14 : Bof, qd in se décale, on sent des résonances selon la position, genre des modes selon l'angle.

Sujet 15 : Oui, on perçoit une directivité, mais de là à la chiffrer.

Sujet 16 : Pas de là à définir un angle de directivité ! Disons que dans l'axe des 2 enceintes, on a plus de niveau et de son... c'est plutôt égal partout ailleurs.

Sujet 18 : Oui, surtout au niveau du bas medium (étonnamment ?) 45°

Sujet 22 : Non pas vraiment

Sujet 23 : NON

Sujet 24 : NON

Sujet 26 : Environ 30° (+/- 15°), en étant proche des enceintes.

Sujet 27 : environ 90°.

Sujet 28 : Non

Sujet 30 : La directivité dans l'aigu me paraît très étroite (+/-20°, difficile à estimer)

7.4.3 Dynamique/ Compression

Question : Pensez-vous qu'il soit intéressant de compresser certaines musiques sous l'eau ?

Sujet 12 : Pas eu le temps d'écouter, mais en tout cas ça marche plus sur Sting que sur de la musique classique...

Sujet 13 : Non, je pense que plus on compresse un morceau, moins l'écoute sous l'eau est précise. On a ce sentiment de bouillie, les fréquences se mélangent.

Sujet 14 : oui : un peu classique trop de dynamique. Non, si on peut rester immobile sous l'eau pour écouter sans perturbation.

Sujet 15 : Oui car certains pics sont très désagréables.

Sujet 16 : Classique : je ne vois pas beaucoup de différence, en même temps, j'étais gênée dans la première partie par les nuances faibles du sympho... Ok pourquoi pas un peu de compression. Jazz :non ! à la compression des trois extraits, je préfère de loin le 2e.

Sujet 17 : Les basses rendent mieux un peu compressées, mais trop de compression rend l'image plate - vivante, les son plus aigus sont moins intéressants (piano par exemple).

Sujet 18 : A part protéger les HP...

Sujet 21 : Par rapport à un phénomène de distorsion de basses, la compression peut devenir un facteur limitant de qualité d'écoute.

Sujet 22 : Pas vraiment

Sujet 26 : Sincèrement non ! Les différences sont difficilement perceptibles.

Sujet 27 : Pour l'extrait classique, la compression détériore beaucoup le signal, moins bonne compréhension de la musique, mauvaise intelligibilité. Pour le jazz, les différences sont moins flagrantes.

Sujet 28 : Peut-être moins pour le classique.

Sujet 29 : Je ne suis pas sûre que ce soit lié à la compression, mais dès qu'il y a un orchestre et surtout beaucoup de violons, le classique sonne un peu soupe. D'un autre côté, dès qu'on s'éloigne un peu de la surface, il y a très peu de bruits qui viennent parasiter la musique. Tout est net, et la compression n'apporte peut-être pas grand-chose (surtout pour le jazz).

Sujet 30 : J'ai l'impression que les forts niveaux font mal plus vite que dans l'air, donc oui pour protéger les oreilles. J'ai aussi l'impression que les Haut-parleurs saturent vite, donc oui à cause de la qualité des HP

7.4.4 Localisation

Troisième partie 22 fév. 2008 :

Sujet 1 : AC/DC : pouvez vous donner des éléments de localisation ? Caisse claire ?

Connaissiez-vous ce mix auparavant ? oui

Extrait symphonique : DDGG

Extrait symphonique stéréo, percevez vous des plans sonores ? Pas du tout

Extrait de maracas : GDGD facile à localiser

Sujet 2 : AC/DC : pouvez vous donner des éléments de localisation ? NON

Connaissiez-vous ce mix auparavant ? non

Extrait symphonique : CCCC

Extrait symphonique stéréo, percevez vous des plans sonores ? Localisé dans la tête ??

Extrait de maracas : Droite

Sujet 3 : AC/DC : pouvez vous donner des éléments de localisation ? Non

Connaissiez-vous ce mix auparavant ? non

Extrait symphonique : DDGG

Extrait symphonique stéréo, percevez vous des plans sonores ?

Extrait de maracas : GDGDG, pas de problème

Sujet 4 : AC/DC : pouvez vous donner des éléments de localisation ? Non, éventuellement j'entends les guitares doublées donc je les sépare G/D parce que je connais ?

Connaissiez-vous ce mix auparavant ? oui

Extrait symphonique : DDGG

Extrait symphonique stéréo, percevez vous des plans sonores ? Pas vraiment de localisation sur l'image diffusée.

Extrait de maracas : Très difficile à localiser, ponctuel, mais partout en même temps. Ca me fait penser : 1. Aux effets de phase qui rendent la localisation difficile. 2. A quand tu diffuses le même signal sur les 5 HP en 5.1.

Sujet 5 : AC/DC : pouvez vous donner des éléments de localisation ? non

Connaissiez-vous ce mix auparavant ? oui

Extrait symphonique : ? J'étais derrière

Extrait symphonique stéréo, percevez vous des plans sonores ?

Extrait de maracas : GDGD

Sujet 6 : AC/DC : pouvez vous donner des éléments de localisation ? non

Connaissiez-vous ce mix auparavant ? non

Extrait symphonique : DDGG position milieu du groupe

Extrait symphonique stéréo, percevez vous des plans sonores ?

Extrait de maracas : GDGD

Sujet 7 : AC/DC : pouvez vous donner des éléments de localisation ? Très rapidement, semblant de localisation de guitares

Connaissiez-vous ce mix auparavant ?

Extrait symphonique : GGGG

Extrait symphonique stéréo, percevez vous des plans sonores ? non

Extrait de maracas : Au point proche, localisation possible GDGD

Sujet 8 : AC/DC : pouvez vous donner des éléments de localisation ? Peut-être la guitare à gauche ?
Connaissiez-vous ce mix auparavant ? non
Extrait symphonique : DDGG (j'étais à 2m du plan des enceintes)
Extrait symphonique stéréo, percevez vous des plans sonores ?
Extrait de maracas : GDGDC

Sujet 9 : AC/DC : pouvez vous donner des éléments de localisation ? J'étais à peu près à 2m du bord de la piscine, tout est un peu flou.
Connaissiez-vous ce mix auparavant ? oui
Extrait symphonique : DDGG
Extrait symphonique stéréo, percevez vous des plans sonores ? Aucun plan sonore
Extrait de maracas : J'entend tout sur la droite, sauf le dernier sur la gauche.

Sujet 10 : AC/DC : pouvez vous donner des éléments de localisation ?
Connaissiez-vous ce mix auparavant ? non
Extrait symphonique : DDGG (j'étais derrière)
Extrait symphonique stéréo, percevez vous des plans sonores ?
Extrait de maracas : GDGD (j'étais devant)

Sujet 11 : AC/DC : pouvez vous donner des éléments de localisation ? non
Connaissiez-vous ce mix auparavant ? non
Extrait symphonique : DDG ?
Extrait symphonique stéréo, percevez vous des plans sonores ?
Extrait de maracas : GDGDCentre Ouais, on sent que ça se déplace mais pfou ! faut être concentré.

Question : Pouvez-vous donner des éléments de localisation ?

Sujet 12 : Duo Guitaristes : Localisation des QR OK
Bang Bang : voix à gauche (jaune) et guitare à droite. Je me suis éloigné du centre vers le bord, ça marche encore.
Chemical Brothers : HH à droite (j'ai eu l'impression), puis synthé qui se ballade clairement. J'ai pas fait attention aux voix.
Mars Gustav Holst : Trompette à gauche légèrement (jaune)

Sujet 13 : Duo Guitaristes : 1ère gt jaune, 2e guitare rouge
Bang Bang : Voix jaune, guitare rouge
Chemical Brothers : Bass Drums centre, Voix 1 HP jaune, Voix 2 HP rouge, Key se ballade
Mars Gustav Holst :

Sujet 14 : Duo Guitaristes : oui 1 gt solo rouge
Bang Bang : Nancy vers jaune, gt vers rouge
Chemical Brothers : Rythmique Mono FX se promènent
Mars Gustav Holst : Violons vers rouge, cuivres vers jaune

Sujet 15 : Duo Guitaristes : 1 guitare de part et d'autre
Bang Bang : Voix côté jaune
Chemical Brothers : Rien si ce n'est plus de basses côté rouge
Mars Gustav Holst : Répartition normale d'orchestre

Sujet 16 : Duo Guitaristes : Je galère pr les guitares... y en avait combien ?

Bang Bang : guitare d'un côté, voix de l'autre

Chemical Brothers : Batterie à 30°, 1 voix de chaque côté, pas de mémoire pour le reste... Rien de très flagrant pour moi quoi.

Mars Gustav Holst : oulala ! Gros Pb... C'est très large et l'harmonie est à droite. Je devais être face vers l'arrière.

Sujet 17 : Duo Guitaristes : Guitare aigue à droite, + grave à gauche. Percus

Bang Bang : Voix à gauche guitare à droite

Chemical Brothers : Voix à droite, mvt gauche droite (je crois). Batterie, je ne me souviens plus, pt-être plutôt centré

Mars Gustav Holst : Position orchestre classique Violon à gauche, cuivres percus à droite

Sujet 18 : Duo Guitaristes : 1 gtr de chaque côté

Bang Bang : Voix sur hp jaune (très clairement) gtr sur hp rouge (un peu moins c)

Chemical Brothers : Globalement mono, élément mélodique en arpège (genre mélotron) se baladant g/d

Mars Gustav Holst : Globalement mono, violons un peu sur HP jaune

Sujet 19 : Duo Guitaristes : Deux Gt 1J 1R

Bang Bang : Voix a Gauche J guitare droite R

Chemical Brothers : Scratch mvt

Mars Gustav Holst : violon et cor enceinte R

Sujet 20°: Duo Guitaristes : bof

Bang Bang : voix à droite, reste ?

Chemical Brothers : ?

Mars Gustav Holst : violon légèrement à gauche Timbale/ Cor à droite

Sujet 21 : Duo Guitaristes :

Bang Bang : On entend bien les guitaristes dialogues G/D

Sujet 22 : Duo Guitaristes : Deux guitare, une à gauche une à droite

Bang Bang : Nancy, jaune, guitare rouge

Chemical Brothers : La voix et le clavier qui se balade de droite à gauche

Sujet 23 : Duo Guitaristes : guitare plutôt ampli jaune

Bang Bang : Voix ampli rouge/ musique ampli jaune

Chemical Brothers : Voix ampli jaune/ Instrument ampli rouge

Mars Gustav Holst : désespérément mono

Sujet 24 : Duo Guitaristes : Droite

Bang Bang : voix à gauche, instrument à droite

Chemical Brothers : à droite

Mars Gustav Holst : au centre et à droite

Sujet 25 : Duo Guitaristes : Ok, un à gauche, l'autre à droite

Bang Bang : idem

Chemical Brothers : Pas flagrant. OK pour les voix G/D, pas pour le synthé

Mars Gustav Holst : Un peu plus d'air en stéréo, sur réponse cuivres

Sujet 26 : Duo Guitaristes : au début, rythmique rouge, mélodie jaune
Bang Bang : Gtr plus large, voix également Gt vers l'enceinte rouge
Chemical Brothers : Voix comme avec un traitement HRTF
Mars Gustav Holst : Difficile à définir, mais incomparablement mieux en stéréo

Sujet 27 : Duo Guitaristes : 1ere gt sur rouge
Bang Bang : Nancy sur rouge
Chemical Brothers : Mvt Rouge-Arrière-Jaune sur les voix

Sujet 29 : Duo Guitaristes : 1 guitare à J, 1 gt à R
Bang Bang : Nancy est à Jaune
Chemical Brothers : Aucune idée pour la localisation, mais c'est carrément mieux en stéréo.
Mars Gustav Holst : C'est un peu de la soupe dans l'eau, cuivres à jaune

Sujet 30 : Duo Guitaristes : 1 guitare de chaque côté, solo à J, rythmique à R
Bang Bang : Nancy est à J, la guitare à R
Chemical Brothers : Difficile à localiser

Sujet 31 : Duo Guitaristes : Gauche/Droite assez bien définie
Bang Bang : voix jaune, guitare rouge
Chemical Brothers : ? déplacements rouge vers jaune ?
Mars Gustav Holst : Localisation difficile mais sensation d'espace

Sujet 32 : Duo Guitaristes : Gt grave sur R aigue sur J (+ de sensation d'espace)
Bang Bang : Voix sur jaune
Chemical Brothers : Bruitages sur rouge
Mars Gustav Holst : Violons, cors sur R, tp sur J

Sujet 33 : Bang Bang : voix côté jaune

Sujet 34 : Duo Guitaristes : Je ne perçois pas l'origine gauche ou droite des sons.
Bang Bang : Idem
Chemical Brothers : Le son grave est très saturé dans les deux cas, encore plus en stéréo
Mars Gustav Holst : Petit son, un peu saturé en mono et beaucoup en stéréo. Très mauvaise qualité d'écoute (je me demande si je n'ai pas les oreilles bouchées).

Sujet 35 : Duo Guitaristes : Localisation guitares vers gauche et droite, le son général est plus transparent.
Bang Bang : Gt d'un côté, voix de l'autre côté, donc localisation
Chemical Brothers : pas trop stéréo
Mars Gustav Holst : résonant vers 1 kHz, et pas qu'en mono, localisation pas trop.

Sujet 36 : Duo Guitaristes : Impossible de localiser
Bang Bang : Idem
Chemical Brothers : Idem
Mars Gustav Holst : Idem

Sujet 38 : Duo Guitaristes :
Bang Bang : La voix côté jaune, le guitariste plutôt rouge (mais bouge un peu)
Chemical Brothers : les graves plutôt jaune, voix 1 jaune, Voix 2 rouge

Mars Gustav Holst : Impression des cuivres graves plutôt jaune. J'ai localisé plusieurs sons, mais comment l'écrire ?

Sujet 39 : Duo Guitaristes : Il y a de l'espace, mais difficile à décrire
Bang Bang : fille à droite, le reste plus au milieu
Chemical Brothers : Il y a de l'espace mais difficile à décrire
Mars Gustav Holst : les cuivres sont facilement localisables, le reste moins

Sujet 40 : Duo Guitaristes : Bonne stéréo, large sur dialogues guitares
Bang Bang : Basses floues, bonne localisation en fin d'extrait, dans les voix gauche/droite
Chemical Brothers :
Mars Gustav Holst : Localisation assez floue. Impression de largeur sur l'orchestre

Sujet 41 : Duo Guitaristes : Clairement g/d, même quand on s'éloigne
Bang Bang : les sons sont artificiels (pas acoustiques je veux dire, dc c'est plus difficile de percevoir un espace, donc de localiser
Chemical Brothers : ? encore plus dur, Par contre dans la version mono, on entend vraiment les masquages du mono.
Mars Gustav Holst : Cette fois j'ai l'impression de percevoir une image avec un peu de profondeur... (illusion ?), par contre, pas de G/D

Question : Avez-vous des remarques concernant la localisation ?

Sujet 12 : C'est moins évident que dans l'air, mais on y arrive, même loin des HP (dans l'axe)

Sujet 13 : Je trouve dans cet exercice, la localisation est relativement facile à distinguer.

Sujet 14 : Ca marche bien !!

Sujet 16 : Ce n'est pas évident mais c'est possible.

Sujet 17 : On la ressent vraiment dans la tête : côté gauche ou droit qui résonne, c'est étrange comme sensation, pas habituel mais sympa.

Sujet 18 : Des questionnements ...! Les règles doivent être différentes Les Δt sont peut-être plus importants que les Δi ? Donc à établir.

Sujet 19 : Meilleure en immersion qu'en surface !!

Sujet 20 : PAN à 100% marche bien, du stéréo mélangé moyen

Sujet 23 : De manière générale, la musique est plutôt englobante et je distingue mieux la provenance des voix.

Sujet 26 : La stéréo, c'est plus aéré ! C'est ça l'avantage de localiser un minimum.

Sujet 27 : Rendu 100 fois meilleur en stéréo.

Sujet 28 : Bien meilleure restitution de l'espace, sensation d'enveloppement, et meilleure précision en stéréo.

Sujet 29 : La stéréo est plus agréable

Sujet 31 : La localisation est très floue, par contre la sensation d'espace est largement meilleure en stéréo (peut-être le problème de replier de la stéréo en mono est-il à incriminer)

Sujet 32 : Il y a une énorme différence lorsqu'on bouche les oreilles : le son devient plus précis et avec moins de graves, la reverb de la piscine doit être perçue via le conduit auditif...

Sujet 33 : La stéréo donne plus d'espace, de sensation de volume, de reverb, même si on ne détermine pas la localisation. Même sensation de « respirer » que l'écoute hors de l'eau (mono/ stéréo)

Sujet 34 : la localisation est plus spatiale qu'en aérien, j'ai eu l'impression d'entendre des bruits en haut et en bas en plus de droite et gauche.

Sujet 35 : J'ai eu du mal à localiser sur l'exemple du dialogue (j'ai du me concentrer) , et sur les autres morceaux, une sensation globale, mais impossible de localiser. Le son stéréo semble plus fort, plus « ample »

Sujet 36 : Je localisais pas grand-chose. Orchestre : presque rien. Selon moi, la localisation n'a pas d'importance dans la piscine, plutôt il faut essayer d'améliorer le son en général, et trouver une solution pour essayer d'avoir un son à peu près égal/ pareil dans tout le bassin.

Sujet 37 : Grosse différence de dynamique et de définition entre mono et stéréo au profit de la stéréo.

Sujet 38 : Je localise peu précisément (est difficile à retranscrire sur papier).

Sujet 39 : C'est un peu comme au casque mais moins large. Il faut que cela soit marqué pour être prégnant.

Sujet 40 : Localisation des basses assez floues.

Sujet 41 : Je crois que pour bien localiser il faut que gauche et droite soient bien séparés (rien au centre) que les sons soient plutôt acoustiques et plutôt simples.

Question : Avez- vous des remarques pour finir ?

Sujet 8 : La musique dans l'air ça sonne c'est clair, dans l'eau c'est beau.

Sujet 12 : C'est super. Bosse dans le bas medium (200, 300Hz) faiblesse un peu dans les aigus, mais c'est agréable.

Sujet 23 : L'écoute sous l'eau demande de la concentration et peu d'activité physique.

Sujet 28 : Expérience très agréable physiquement, détente et massage corporel.

Sujet 31 : Le son est essentiellement dans la tête (surtout oreilles bouchées) avec un espace autour (oreilles débouchées) qui brouille un peu, surtout pour niveau fort.

Sujet 32 : Il finit par faire froid (d'où écriture tremblante). Oreilles bouchées= moins de graves.

Sujet 33 : J'ai senti des différences importantes des que ma tête était complètement immergée.

Sujet 34 : C'est quand je suis entre les enceintes que le son est le plus distordu.

Sujet 35 : Je ne me sentais pas trop bien dans l'eau à cause de manque d'air et mal aux yeux donc en pratique, pour le confort dans une piscine, on veut se détendre, se relaxer plutôt, c'est-à-dire on veut rester à la surface → là, symphonique ne marche pas, la variété marche mieux, rumble dans les graves. Si on bloque les oreilles avec les doigts, la différence entre bloqué et ouvert n'est pas du tout très grande en comparaison avec dans l'air.

Sujet 36 : Boucher les oreilles coupe les graves de façon spectaculaire (cf chemical brothers).

Sujet 39 : oreilles bouchées, on perd les graves mais on éclairci le discours, débouchées, on a + de niveau : intéressant. A voir aussi la fréquence de résonance dans le bassin : ça brouille le bas, pb de sensation de hauteur, ça bave, ça sature.

Sujet 40 : Oreilles bouchées : pas de localisation, perte de toutes les basses.