

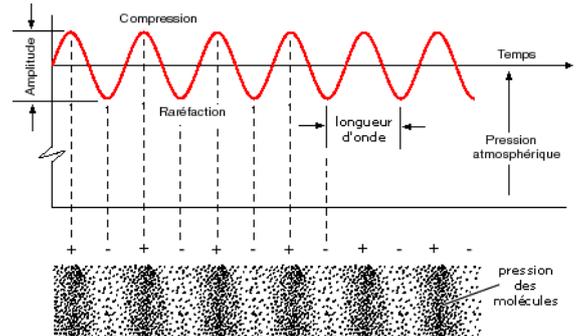
## QUELQUES NOTIONS D'ACOUSTIQUE

### Introduction

L'acoustique est régie par des lois mécaniques, la propagation du son étant le fait de la transmission d'un gradient de pression (onde sonore) sur des molécules d'air (ou d'autres matériaux).

On représente cette ondulation longitudinale par une longueur d'onde " $\lambda$ " (lambda), une amplitude " $A$ " et un temps de propagation " $t$ ". La vitesse du son dans l'air " $C$ " est de 340m/s, le son y parcourt une distance de 34cm en 1ms. Dans le métal ou dans l'eau, cette vitesse est différente.

Une source sonore diffuse ses ondes sur une plage de fréquences " $F$ ", que l'humain perçoit de 20 à 20kHz; au-delà, on parle d'ultrasons.



Une formule simple met en relation ces éléments fondamentaux (avec quelques valeurs typiques) :

$\lambda = \frac{C}{F}$	F	50Hz	100Hz	500Hz	800Hz	1kHz	3,15kHz	5kHz	8kHz	20kHz
	$\lambda$	6,80m	3,40m	68cm	42,5cm	34cm	10,8cm	6,8cm	4,3cm	1,7cm

*Ne pas confondre la distance parcourue par le son (1ms => 34cm) et la longueur d'onde pour une fréquence donnée (1kHz => 34 cm) !*

Un son est dit "pur" lorsqu'il n'émet qu'une seule fréquence (ex.: diapason à 440Hz). En général, les sons sont des combinaisons complexes de multiples fréquences, dont le "générateur" (instrument, voix ou toute source de bruit) fabrique une ou des "fondamentales", lesquelles se démultiplient aux octaves supérieures (harmoniques) en créant, par conséquent, leurs interférences propres.

C'est exactement ce qui fait qu'on reconnaît un instrument, une voix, un son à sa combinaison unique de cette complexité de fréquences et d'interférences, ce qui détermine le "timbre".

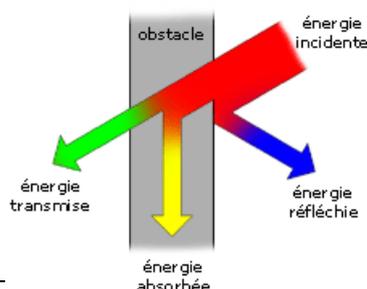
### Émissions, Perturbations, Interférences

Selon les dimensions du lieu d'émission et de propagation de l'onde sonore, et particulièrement d'une pièce, les fréquences vont se développer sur un ou des cycle(s) complet(s), ou partiel : quand  $\lambda$  est plus grand que la plus grande longueur du local, l'onde n'est pas décrite en totalité et se voit perturbée par des distorsions de phase lors des rebonds.

Dans tous les cas, les parois (murs, plafond, sol), selon leur forme (plane, courbe,...) et la nature des matériaux, vont plus ou moins transmettre, réfléchir, diffracter ou absorber l'énergie sonore qui leur parvient, et renvoyer dans la pièce des ondes, plus ou moins similaires, qui en croisant les ondes

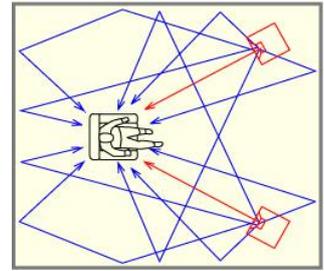
initiales et pour certaines fréquences, vont créer des "interférences" : elles vont sur-accentuer certaines fréquences, en atténuer d'autres, voire les annuler totalement.

L'isolation acoustique consiste à réduire au maximum, par la conception du bâti, l'énergie (entrante ou sortante) échangée avec l'extérieur, alors que la correction acoustique consiste à maîtriser les réflexions internes, de façon à réduire et/ou contrôler les interférences indésirables.



La géométrie de la pièce, la nature et les matériaux des parois, les panneaux –fixes ou mobiles- de correction ajoutés sont les paramètres principaux d'une calibration acoustique.

Une pièce correctement traitée n'absorbe pas la totalité des réflexions (chambre sourde), de façon à laisser un sentiment de vie, mais laisse un ou des points d'écoute "nettoyé(s)" au maximum des perturbations nuisibles, pour y trouver une répartition égalitaire de toutes les fréquences d'un signal sonore.



Devant l'énorme complexité des résonances acoustiques dans un lieu donné, qu'il soit un stade, une pièce de vie, de divertissement, de travail ou de fabrication d'objets sonores (studio de mixage), une étude analytique raisonnée et approfondie est donc toujours nécessaire pour appréhender convenablement les causes des résonances indésirables et identifier les solutions qui répondront à l'objectif. Plus tôt intervient cette étude dans la conception du lieu, meilleurs et plus économiques seront ses résultats !

C'est particulièrement important pour un poste de mixage audio, où des décisions sur les sonorités et le rendu des instruments et du mixage peuvent être faussés par un monitoring inconstant.

### Mesures et Courbes de Réponses

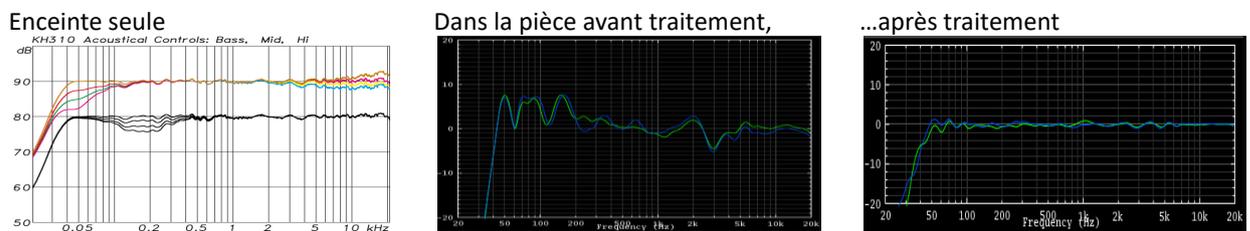
L'analyse d'un point d'écoute est effectuée avec un microphone dit "de mesures", accompagné de sa propre courbe de réponse (papier ou numérique) et d'un appareil ou logiciel qui va générer un signal test (bruit blanc ou rose, sweep, MLS,...) dans les haut-parleurs, et mesurer sa capture par le micro.

La principale mesure qualitative est la courbe de "réponse en amplitude", c.à.d. l'intensité pour chaque fréquence entre 20 et 20kHz (audition humaine), lesquelles sont représentées sur une échelle logarithmique, afin de garder un facteur raisonnable entre la valeur la plus basse (20) et la plus haute, 1000 fois plus grande !

Cette amplitude s'exprime en dB (déciBel =  $1/10^{\text{ème}}$  de Bel) et n'est pas une valeur brute mais l'expression d'un rapport entre le niveau le plus faible et celui le plus fort d'un système. Attention, cette valeur n'a pas le même sens ni le même calcul selon le domaine d'application : pression acoustique (spl), énergie (J), puissance (W), et les différentes mesures électroniques (gain, tension,..).

Le suffixe est donc important : dBspl (pression), dBswl (puissance), dBV (tension), dBm (gain), etc., etc.

Un rapport de 6dBspl entraîne la perception d'un facteur 2 sur le niveau sonore, d'un facteur 4 pour 12dBspl, et d'un facteur 1000 pour 60dBspl. Exemple de courbes de réponse en amplitude :



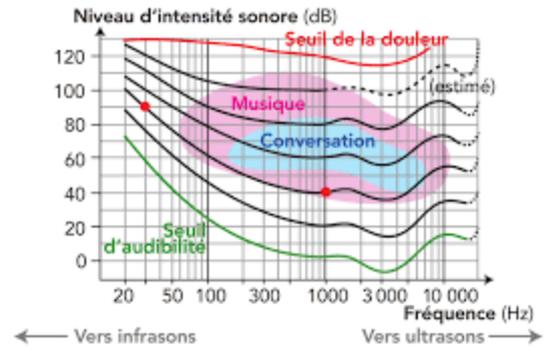
La réponse idéale d'un système de haut-parleurs à un point d'écoute donné devrait être une courbe plate, où toutes les fréquences sont perçues de manière égalitaire. Toutefois, on peut vouloir en compenser certaines, dans un objectif artistique, sanitaire, d'équilibre timbral ou spatial,... et ce de manière temporaire (effet) ou permanent (calibration). Et quand le point d'écoute comprend l'ensemble des dizaines de milliers de spectateurs, les compromis sont inévitables !

On considère qu'une courbe de réponse est "professionnelle" quand elle est contenue dans une gamme ne variant pas plus que  $\pm 3\text{dB}$ , entre 100Hz et 20kHz, modulo certains ajustements spécifiques (cinéma).

## Audition Humaine et Discrimination Temporelle

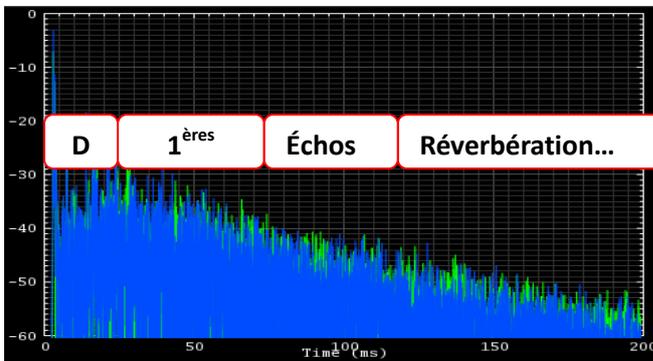
L'audition humaine se compose de l'oreille externe, interne, des circuits neuronaux et de l'arrière-plan culturel de chaque individu, chacun ayant son impact sur notre perception sonore, selon son "état de santé" et l'entraînement à l'acuité auditive.

Ainsi, l'oreille absolue s'apprend (concentration), l'âge entraîne inexorablement une perte des aigus, un Japonais n'a pas la même sensibilité qu'un auditeur malien. Par ailleurs, l'être humain possède sa propre courbe de réponse selon les fréquences et les intensités sonores.



L'écoute stéréophonique (2 oreilles) permet à l'être humain de se construire une représentation spatiale de son environnement sonore par le simple fait qu'en dehors des sons qui lui arrivent frontalement, ceux qui sont écartés de l'axe parviennent à l'oreille opposée avec un délai suffisant pour permettre d'en localiser la source. Cet effet s'accroît avec l'augmentation des fréquences, qui deviennent de plus en plus "directionnelles", les basses (omni-directionnelles) se répandant dans l'ensemble du volume. On mentionne maintenant, avec l'apparition du son immersif, la nécessité d'intégrer le facteur de forme de chaque visage (HRTF) qui a un impact non négligeable sur la transposition d'un mix 3D dans un casque (écoute "binaurale").

Toutefois, "l'effet de fusion" nous rend incapable de discriminer les différents événements sonores qui nous parviennent dans les 50 à 80 premières millisecondes, leur somme provoque une confusion dans l'interprétation des informations sonores, et nous empêche d'en faire une analyse sur la ligne du temps. On distingue ci-dessous les différents moments sonores :



"D" : sons directs avant réflexions  
 "1ères" : réflexions précoces  
 "Échos" : réflexions rapides (type tunnel)  
 "Réverbération" : somme de l'ensemble des réflexions multiples qui se confondent à l'audition sans plus pouvoir être identifiées précisément. Ces sons "diffus" se prolongent souvent bien au-delà de la plage ci-contre, pour atteindre plusieurs secondes.

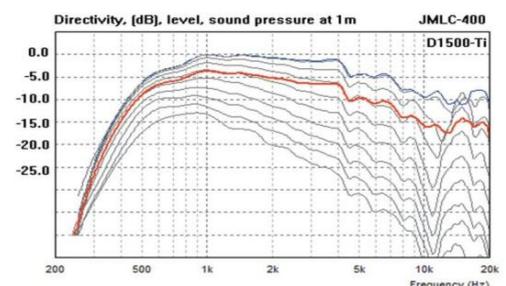
*NB : ces durées peuvent varier fortement d'une situation à l'autre.*

De ce fait, il nous faut passer par des mesures rapportées à la ligne du temps pour évaluer correctement la succession des sons qui vont composer le rendu auditif effectivement ressenti.

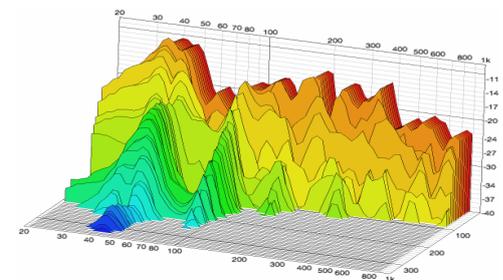
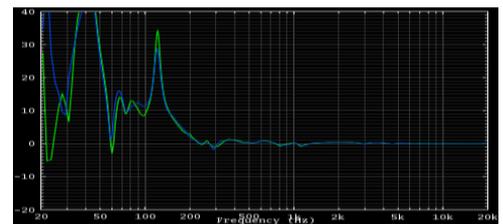
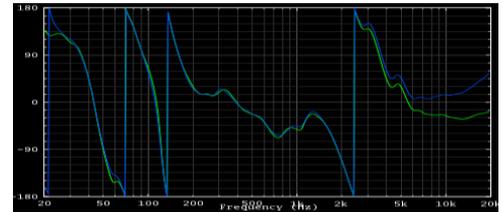
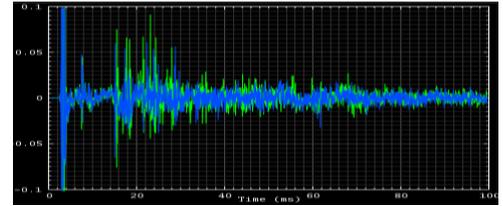
## Autres Mesures

Les mesures acoustiques comprennent d'autres aspects qu'il faut vérifier et analyser pour déterminer les bonnes corrections à appliquer :

- "Direct" : réponse amplitude/fréquences sans l'effet de pièce, soit en chambre sourde (anéchoïque), soit échantillonnée sur une plage de temps de quelques millisecondes. On peut ainsi évaluer la réponse d'un haut-parleur ou d'une enceinte selon l'angle d'écoute, ou l'impact des surfaces très proches de la source (réflexions précoces) telles qu'un mur, une table, un appareil (écran, console,...).



- "Réponse impulsionnelle" : (énergie/temps) on y trouve les événements sonores captés sur la ligne du temps, et notamment la plupart des réflexions assez puissantes pour créer des interférences significatives. L'énergie est reportée fraction du maximum de l'impulsion initiale.
- "Phase" : mesure des rotations de phase en fonction des fréquences, montrant les cycles successifs des ondes sonores. Accidents de régularité et divergences entre sources sont des points critiques qui impacte fortement la qualité de l'image stéréo, et encore plus des multidiffusions (surround, immersive,...).
- "Délai de propagation de groupe" : (temps/fréquences) souvent les basses fréquences sont l'objet d'accélération ou ralentissements (célérité) provoqués par l'impossibilité à décrire des cycles complets (grande  $\lambda$ ) dans l'enceinte et/ou selon les dimensions de la pièce. On peut ainsi corroborer les modes propres et ondes stationnaires.
- "Waterfall" : c'est une réponse impulsionnelle rendue en 3D, avec les fréquences comme dimension supplémentaire. Permet de distinguer comment l'énergie des fréquences se dilue dans le durée.
- "RT60" : le temps que met l'énergie sonore à diminuer de 60dB par rapport à l'impulsion initiale (1000 fois moins fort).



## Principaux Types d'Interférences et Perturbations

À partir de ces différentes mesures, effectuées autant de fois qu'il existe des points significatifs, on pourra en déduire le comportement acoustique d'une pièce, des haut-parleurs et comment se traduit le couplage diffusion/pièce en termes de perturbations nuisibles ou pas. Seront notamment identifiées les interférences suivantes :

- "Ondes Stationnaires" : la combinaison des rebonds pour une ou des fréquences données est constante de par la géométrie de la pièce, et provoque des interférences systémiques et permanentes (modes propres). On ne peut les traiter que par des corrections de géométrie (mécaniques) et d'absorbants de grande dimension.
- "Effet Tunnel" : effet de rebond rapide (*flutter echo*) entre 2 parois parallèles (ou presque) qu'on traite en diffractant ou en absorbant l'énergie des rebonds.
- "Résonances" : certains arrangements mobiliers, des transmissions solidiennes ainsi que la réverbération (somme complexe de multiples réflexions indiscernables) entraînent souvent l'apparition de résonances à certaines fréquences et pour certaines énergies. Ici, les solutions font appel à des traitements combinés et une attention particulière aux aménagements.
- "Déphasages" : les défauts intrinsèques des enceintes, et leur alignement incorrect en distance, en azimut et en niveau entraîne une déformation de l'image spatiale (stéréo, surround ou immersive) et nuit à l'appréciation adéquate des plans sonores dans le mixage. Des réglages soigneux (position, niveau, délai,...) s'imposent.
- "Couleur" : inévitablement, toute pièce colore la perception des auditeurs par de petites variations, qu'il est relativement facile d'aplanir par une égalisation électronique, pourvu qu'elle reste très modérée : une correction supérieure à 6dB est le signe d'un problème acoustique non résolu.

## Traitements Acoustiques

De nombreux calculs sont nécessaires pour d'une part analyser les courbes obtenues lors des mesures, en intégrant la structure des matériaux, leurs coefficients de réaction acoustique (transmission, absorption, réflexion, diffraction) puis, d'autre part, pour déterminer les outils de correction qui permettront d'obtenir une réponse satisfaisante au(x) points de mesures et d'écoute. En général, on mobilisera les éléments suivants :

- Les "bass-trap" : combinaison variable de structures absorbantes, destinés à piéger les basses fréquences, et dont l'épaisseur *apparente* doit être d'au moins  $\frac{1}{4}$  de la longueur d'onde la plus basse à absorber (ex.: pour 100Hz => 85cm). Différents modèles et certains positionnements permettent de contourner cette contrainte.
- Les "absorbeurs" : en général des mousses ou tissus dont la géométrie et la densité permettent de diminuer l'énergie réfléchie, notamment pour les fréquences >200Hz.
- Les "diffracteurs" ou "diffuseurs" : des blocs, en général composites, permettant de modifier l'angle des réflexions, de manière simple ou complexe, et d'en épargner un point critique.

Ce sont les principaux outils "mécaniques", de forme, de conception et de matériaux extrêmement variés, souvent accrochés ou fixés aux parois et plafonds, auxquels on ajoutera des outils électroniques, tels que des "égaliseurs" (EQ) et éventuellement des délais (grande pièce, hall, plein-air,...) manuels ou automatiques.

Il est naturellement critique d'emprunter une démarche rigoureuse et scientifique afin de pouvoir comparer l'étude avant-projet, les mesures à vide et les mesures post-réalisation. On veillera notamment à repérer scrupuleusement les points et les méthodologies de mesures.

Ces premières notions devraient être détaillées dans d'autres articles revenant plus en détail sur les nombreux sujets exposés ici avec un objectif de synthèse et de simplicité...

...la suite à venir !

Chris | [www.audioproww.com](http://www.audioproww.com)