

Il s'agit d'un problème complexe, qui associe la mécanique vibratoire, le comportement des matériaux, et le rayonnement acoustique. Un de mes collègues a écrit un polycopié d'introduction aux notions mises en jeu, et le met à disposition sur notre site. Je vous laisse évaluer s'il vous semble adapté à votre besoin : http://www.lma.cnrs-mrs.fr/IMG/pdf/Cours_Vibroac.pdf

Parmi les études récentes sur le sujet, la thèse de Nicolas Quaegebeur propose une approche intéressante : <http://pastel.paristech.org/3052/> Là encore, il s'agit d'un travail purement scientifique, pas forcément très accessible au niveau d'un TIPE - même si son objectif est en fait très concret et appliqué.

Vous pouvez aussi trouver des éléments qualitatifs dans des ouvrages de vulgarisation, malheureusement souvent fortement teintés des "a priori" de leurs auteurs, le domaine de la reproduction sonore ayant longtemps été le siège de débats passionnels plutôt que rationnels. Je ne saurais pas vous conseiller utilement dans cet esprit, et j'imagine que vous avez déjà exploré le web.

L'approche industrielle est essentiellement empirique. Les solutions actuelles découlent de compromis entre les performances souhaitées, les technologies industrialisables (cad adaptées à une fabrication automatisée avec une qualité constante et contrôlable), et les objectifs de coûts fixés par la stratégie des entreprises. Ceci restreint évidemment le panel des solutions utilisées en pratique. D'une certaine manière, ces impératifs conduisent à réutiliser souvent des "recettes" dont l'origine est parfois un peu oubliée, les concepteurs initiaux ayant suivi d'autres chemins.

Je vous donne ci-après un petit aperçu de mon cru, comme base de départ :

Le point particulier que vous citez (modes de vibration de la membrane d'un haut-parleur dans le domaine des hautes fréquences) est ambigu : aux hautes fréquences, l'amortissement du matériau ainsi que celui lié au rayonnement, ne permettent pas de définir facilement des "modes" (base formée par les solutions propres d'un opérateur). Cette notion peut se généraliser, mais je ne pense pas que cela soit le sens de votre question. Physiquement, cela signifie qu'il n'y a pas de résonances marquées autour de fréquences définies, mais que la propagation des ondes de flexion dans la membrane est très dispersive et "chahutée" par des coïncidences géométriques au sein de la membrane - sans pour autant construire un système d'ondes stationnaires comme dans des résonances pures. Désolé de ne pas trouver de formulation plus parlante, ces notions sont plutôt délicates.

Un des objectifs des concepteurs de haut-parleur est de faire en sorte que la poussée mécanique de la bobine, localisée au centre (cône) ou à la périphérie (dôme) de la membrane, construise simultanément un front d'onde acoustique dans l'air, et une onde de flexion progressive dans la membrane. Si ces deux ondes se propagent "harmonieusement" (e.g. avec une même projection sur l'axe), la réponse fréquentielle obtenue est étendue et régulière - et donc la membrane est potentiellement "neutre". Pour cela, les caractéristiques de la membrane (matériau, épaisseur, etc) doivent être adaptées à son profil. De plus, le raccordement entre la membrane et ses suspensions doit limiter les réflexions qui auraient sinon tendance à construire des résonances. Les modèles actuels, et leur implémentation dans des logiciels de CAO, ne permettent pas de prévoir ce type de comportement avec une précision suffisante (car l'oreille humaine est sensible à des phénomènes

d'échelles très différentes, que l'on connaît encore mal). Ces outils sont donc utilisés pour "dégrossir" des solutions, qui sont ensuite affinées par essais-erreur, le résultat étant in fine évalué à l'écoute.

Je n'ai ici cité qu'un des objectifs de conception : il y en a un grand nombre, et l'importance relative qu'on leur accorde dépend de chaque concepteur. Il n'y a pas de membrane "idéale" : chaque concepteur (quand il y en a un) vise un compromis qui correspond à sa "signature sonore", appréciée (ou non) par un segment de marché. Nous (chercheurs) entretenons des relations étroites avec tous les concepteurs qui y sont ouverts, pour tenter de faire le lien entre les solutions qu'ils ont sélectionnées, et les différents domaines scientifiques concernés - notamment la psychoacoustique, qui fait le lien avec la perception et les "préférences culturelles" des auditeurs. La mécanique n'est donc qu'une (petite) part du travail scientifique dans le domaine de la reproduction sonore.

Désolé de ne pas pouvoir aller plus loin dans cette explication - le sujet me passionne, mais j'ai bien évidemment aussi des impératifs à respecter ! Je vous souhaite de découvrir une partie de ce sujet par une approche plus personnelle (le "P" de TIPE ?), et d'y trouver la motivation d'une future carrière !