**Zeitschrift:** Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

**Herausgeber:** Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe

**Band:** 29 (1951)

**Heft:** 6

**Artikel:** La fidélité des haut-parleurs dans la reproduction des phénomènes transitoires

**Autor:** Hetsch, Jean-Claude

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-875342

**Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

**Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

**Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

**Download PDF:** 11.07.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch**

Nº 6 - BERN, 1. VI. 1951 - JAHRGANG - ANNÉE - ANNO XXIX

TECHNISCHE MITTEILUNGEN

BULLETIN TECHNIQUE

PTT

BOLLETTINO TECNICO

Herausgegeben von der Schweizerischen Post-, Telegraphen- und Telephonverwaltung. Publié par l'administration des postes, télégraphes et téléphones suisses. Pubblicato dall'amministrazione delle poste, dei telegrafi e dei telefoni svizzeri

# La fidélité des haut-parleurs dans la reproduction des phénomènes transitoires

Par *Jean-Claude Hentsch*, Zurich

621.395.623.7

**Résumé.** *Dans une étude qui a été faite dans le Laboratoire de recherches et d'essais de la Direction générale des PTT, on a cherché à déterminer comment les déformations des phénomènes transitoires se produisent dans les haut-parleurs, et dans quelle mesure ces déformations influencent la qualité subjective de la reproduction.*

Sommaire: Critères de qualité: Comment peut-on et comment doit-on les établir? Nature des phénomènes transitoires: Ce qu'ils sont et comment ils sont perçus. Mesures de haut-parleurs en régime transitoire: Les raisons pour lesquelles ce genre de mesure est peu indiqué pour déterminer l'importance subjective des déformations. Le rôle des déphasages: Doit-on tenir compte des déformations provoquées en régime transitoire par les différences de marche? Essai d'interprétation directe de la courbe de réponse en amplitude: Ebauche d'une méthode d'évaluation. Effets de l'écoute binauriculaire: Comment on peut, pour la mesure de la courbe de réponse, éliminer l'effet de certaines interférences qui se produisent dans le haut-parleur. Conclusion.

**Zusammenfassung.** *In einer Arbeit, die an der Forschungs- und Versuchsanstalt der Generaldirektion PTT ausgeführt wurde, ist untersucht worden, in welcher Weise Verfälschungen der Einschwingvorgänge in den Lautsprechern entstehen und in welchem Masse solche Verzerrungen die subjektive Qualität der Wiedergabe beeinträchtigen.*

Inhalt: Qualitätskriterien: Wie können sie formuliert werden? Eigenschaften von Einschwingvorgängen: Aus was bestehen sie und wie werden sie wahrgenommen. Messungen der Lautsprecher im nicht-stationären Zustande: Gründe, warum solche Messungen für eine Bestimmung der subjektiven Lautsprecherqualität wenig geeignet sind. Der Einfluss der Phasenverzerrungen: Soll der Einfluss der Laufzeitdifferenzen berücksichtigt werden? Direkte Auswertung der Amplitudenkennlinie: Versuch, eine Methode auszuarbeiten. Auswirkungen des zweiohrigen Hörens: Wie ist es möglich, bei der Messung der Amplitudenkennlinie Interferenzeffekte zu eliminieren. Schlussbemerkungen.

## Critères de qualité

Une chaîne de transmission électro-acoustique linéaire est entièrement caractérisée si l'on indique, en fonction de la fréquence, les rapports d'amplitude et de phase entre la grandeur 1 (électrique, mécanique, acoustique) qui excite le début de la chaîne, et la grandeur 2 transmise à la fin de la chaîne. Pour un haut-parleur placé dans les conditions usuelles de mesure, la grandeur 1 est la tension électrique aux bornes d'entrée, et la grandeur 2 est la pression acoustique mesurée par un microphone placé dans l'axe du haut-parleur et dans des conditions telles qu'il ne reçoive que des sons directs. Les chaînes de transmission qu'on peut réaliser en pratique provoquent toutes, plus ou moins, des distorsions non linéaires; on estime toutefois que celles-ci sont suffisamment faibles pour qu'on puisse les considérer comme indépendantes de la courbe de réponse. On admet, par exemple, que la courbe de réponse en amplitude reste sensiblement la même à tous les niveaux pratiquement utilisés.

Pour être parfaite, une transmission devrait être entièrement linéaire, avoir une réponse en amplitude constante pour toutes les fréquences et une réponse en phase variant linéairement avec la fréquence. Si l'on s'écarte de cet idéal, la reproduction n'est plus entièrement fidèle; le désir de chacun serait de pouvoir déterminer un chiffre caractérisant la qualité de cette reproduction. Ce chiffre devrait pouvoir être calculé à partir de mesures objectives faites sur la chaîne de transmission, mais il devrait être en même temps une mesure de l'appréciation de la majorité des auditeurs; il devrait donc tenir compte de l'élément subjectif. Un exemple nous montrera qu'il est très difficile d'apprécier l'élément subjectif en donnant simplement des coefficients d'importance aux différents types de déformation qui peuvent se produire: une transmission libre de distorsions non linéaires paraît d'autant meilleure que la bande de fréquences transmises est plus large. Par contre, si la distorsion est importante, la majorité des auditeurs préfère que les hautes fréquences soient fortement

atténuées. Suivant l'importance de la distorsion non linéaire, l'élargissement de la bande passante peut donc signifier subjectivement une diminution de la qualité. Malgré ces difficultés, il n'est pas exclu qu'on arrive à simplifier le problème et à établir des règles qui permettent de définir la qualité.

Si nous mesurons deux haut-parleurs et les trouvons équivalents, à cela près que l'un a une forte distorsion non linéaire dans les basses fréquences seulement, l'autre une distorsion moins élevée, mais affectant presque toutes les fréquences, nous ne pouvons pas dire lequel est le meilleur, mais nous pourrions tenter de les comparer d'après le principe suivant (fig. 1):

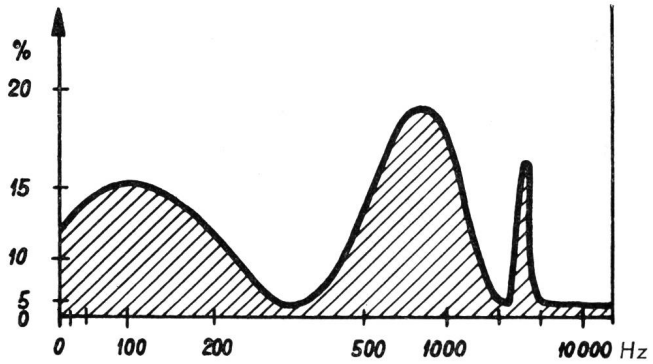


Fig. 1. Graphique pour la détermination de la distorsion moyenne. La graduation des échelles n'est pas basée sur des données réelles, mais vise seulement à illustrer le principe décrit

La courbe représentant le degré de distorsion (facteur d'intermodulation) en fonction de la fréquence, serait dessinée sur un graphique. L'échelle des ordonnées serait déformée pour tenir compte de ce que l'impression de désagrément causée par la distorsion n'est pas directement proportionnelle à la distorsion elle-même. L'échelle des fréquences serait également modifiée parce que, d'une part, des distorsions égales ne sont pas ressenties comme également désagréables à toutes les fréquences et que, d'autre part, certaines fréquences sont statistiquement plus souvent présentes que d'autres. La surface délimitée par la courbe et l'axe des abcisses donnerait ainsi une mesure subjective de la distorsion moyenne. Il est bien évident que l'application d'une telle méthode ne pourrait se faire qu'au prix de bien des simplifications, mais la seule chose qui importe, c'est que le résultat final concorde bien avec la moyenne des jugements subjectifs. Seule l'expérience pourrait dire si cela est possible. Nous n'avons indiqué cette méthode que pour illustrer une idée et sans avoir étudié de près la question des non-linéarités. Une bonne étude de ce problème a été faite par *Braunmühl* et *Weber* [1].

En général, nous pouvons dire que l'établissement de critères de qualité pose le problème suivant:

*Que doit-on mesurer, et comment doit-on interpréter la mesure pour obtenir des résultats qui correspondent le mieux possible aux impressions subjectives?*

On manque souvent de se rendre compte que les deux parties de cette question sont intimement liées.

## Nature des phénomènes transitoires

Dans tout ce qui suit, nous nous occuperons plus particulièrement des déformations subies dans les haut-parleurs par les phénomènes transitoires. On considère comme phénomène transitoire ce qui se passe pendant le passage d'un état stationnaire à un autre état stationnaire. Un état d'oscillation ou un état de repos n'est vraiment stationnaire que s'il dure infiniment longtemps. C'est pourquoi il est plus juste de dire qu'en pratique, un phénomène transitoire se termine au moment où l'on a atteint un état *quasi* stationnaire. Le temps correspondant à l'établissement de cet état quasi stationnaire dépend essentiellement des caractéristiques du système considéré.

Le faisceau d'électrons d'un tube à rayons cathodiques se déplace sous l'influence de la tension entre les plaques de déflexion. Si cette tension varie brusquement, il faut un temps extrêmement court pour que le rayon prenne sa nouvelle position d'équilibre. Si l'on branche sur les plaques une tension sinusoïdale de 1000 Hz, la variation de tension sera suffisamment lente pour qu'on ne puisse constater aucun retard du mouvement du rayon sur la variation de tension. On peut donc admettre dans ce cas que le système considéré, ayant un temps de réaction très faible, est constamment en équilibre; il est donc en état quasi stationnaire. Il suit les variations, pour lui lentes, de la tension, et ne reconnaît pas la présence d'une oscillation ayant une fréquence donnée. C'est seulement parce que l'écran de l'oscilloscope nous permet de suivre le mouvement du rayon pendant un certain *temps* que nous pouvons mettre cette oscillation en évidence.

Examinons, d'autre part, le cas d'un analyseur de fréquences, qui serait accordé sur 1000 Hz, et enclenchons à ses bornes une tension alternative de cette fréquence. Si la bande passante de l'analyseur est assez large, il indiquera rapidement la valeur de la tension. Si par contre la bande passante est rendue extrêmement étroite, la fréquence sera déterminée avec plus de précision, mais il faudra un temps plus long pour mesurer l'amplitude. Si l'analyse est faite par un simple circuit résonnant pour lequel $\omega_0$ est la fréquence de résonance et $\omega_0 \pm \Delta\omega$ les fréquences où l'atténuation est de 3 db, une tension alternative de fréquence $\omega_0$ enclenchée soudainement à l'entrée du filtre s'établira à la sortie avec une constante de temps $T = 1/\Delta\omega$. C'est donc seulement quand $\Delta\omega$ est très grand que T devient très petit et que la tension de sortie suit exactement la tension d'entrée. Ces faits nous conduisent au point de vue suivant:

Dans un phénomène transitoire comme celui dont nous donnons l'exemple (fig. 2), l'énergie est distribuée au début sur toutes les fréquences. Puis elle se concentre dans une bande de fréquences dont la largeur diminue comme l'inverse du temps écoulé. Il revient presque au même de dire: un appareil qui réalise une analyse de fréquence a besoin d'un temps d'autant plus long que l'analyse est plus précise.

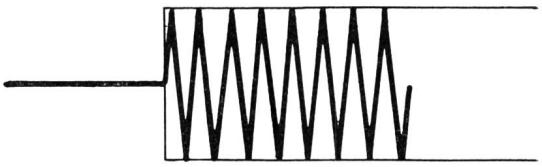

Fig. 2. Exemple de phénomène transitoire: l'enclenchement d'une tension sinusoïdale

Le fonctionnement de notre oreille est en accord avec ces lois: si elle est soumise à une pression acoustique variant comme le montre la figure 2, nous percevrons d'abord un claquement sec correspondant à la présence simultanée de toutes les fréquences; ce n'est qu'après 10 millisecondes au moins, que l'impression de son prend naissance.

Les figures 3, 4 et 5 nous montrent comment un phénomène transitoire peut être déformé quand il

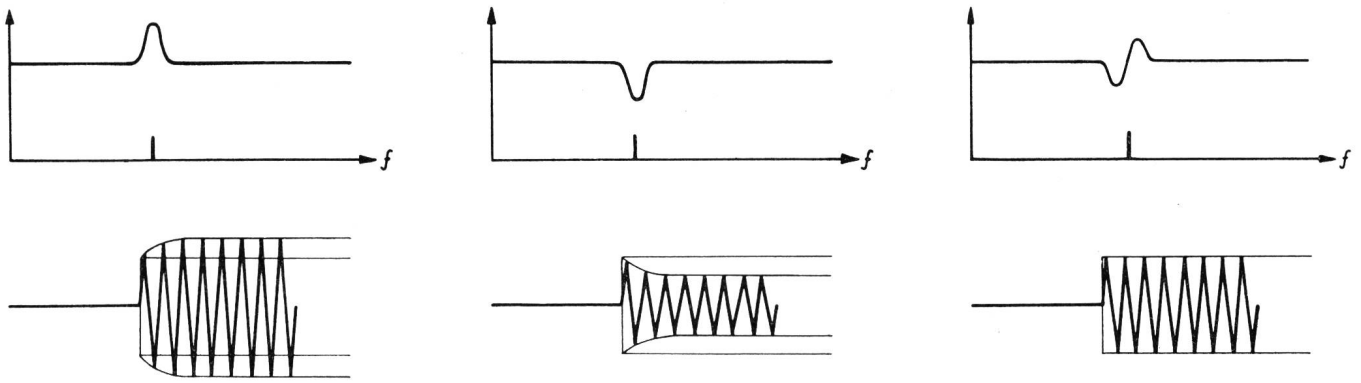


Fig. 3, 4 et 5. Déformation du phénomène transitoire de la figure 2 par différents types de courbe de réponse

est transmis par un système ayant une réponse inégale aux différentes fréquences. Dans le cas d'une résonance (fig. 3), le son, une fois établi, aura une intensité supérieure au niveau moyen qui vaut pour la reproduction de l'enclenchement lui-même. Par rapport au son, le *clac* sera moins fort que normalement. Dans le cas de la figure 4, le *clac* apparaîtra plus fort que normal. Avec la courbe de réponse de la figure 5, on ne remarquera pas de différence dans l'intensité du *clac*; par contre, si les irrégularités sont grandes, on pourra remarquer un certain changement de son timbre.

Quand une onde sinusoïdale n'atteint pas immédiatement toute son amplitude, le *clac* se produisant au moment de l'enclenchement paraît moins fort. Il se produit un phénomène semblable au moment où un son est interrompu. Si l'on augmente progressivement la constante de temps avec laquelle se font l'enclenchement et la rupture, on observe ce qui suit: Le clac diminue d'intensité et finit par disparaître complètement pour une constante de temps de l'ordre de grandeur de 10 ms. Si la constante de temps est encore augmentée, l'oreille devient capable de suivre les variations d'intensité du son, et l'on cesse d'avoir l'impression qu'il naît et meurt brusquement. A ce moment, les conditions de perception deviennent très différentes pour l'enclenchement et le déclenchement. Comme on peut suivre la variation du niveau, il faut représenter celui-ci sur l'échelle des sensations, qui est à peu près logarithmique. En conséquence, un enclenchement à forme exponentielle paraîtra beaucoup plus soudain qu'un déclenchement à chute exponentielle. C'est pour des constantes de temps supérieures à 15...30 ms (suivant l'intensité initiale) qu'on peut commencer à prendre conscience des variations d'intensité au déclenchement. Ces constantes de temps correspondent à des temps de réverbération de 0,1 à 0,2 sec. Certains auteurs, trompés par l'utilisation de l'échelle logarithmique, attribuent plus d'importance aux déformations du déclenchement qu'à celles de l'enclenchement, même quand les constantes de temps sont inférieures à 10 ms. S'il fallait choisir, nous donnerions au contraire la préférence à l'étude de l'enclenchement, car les interruptions brusques d'un son sont rares dans une reproduction, alors que les attaques à front très raide se rencontrent souvent.

**Mesures de haut-parleurs en régime transitoire**

Différentes méthodes sont utilisées pour étudier directement le comportement d'un haut-parleur en régime transitoire. Un procédé consiste à exciter le haut-parleur avec des impulsions très brèves (qui contiennent donc toutes les fréquences). On observe à l'oscillographe les ondes rayonnées dans l'air par le haut-parleur, et l'on analyse les courbes obtenues pour déterminer les principaux modes d'oscillation du système. Théoriquement, on pourrait même, à partir des courbes obtenues ainsi, calculer la courbe de réponse du haut-parleur. On a donc sous une forme concentrée, tous les éléments nécessaires à la connaissance du haut-parleur. Et c'est justement parce qu'un ensemble de données complexes est combiné en une seule courbe qu'on mesure en un temps très bref, donc avec peu de précision, que cette courbe est difficile à analyser. La méthode est excellente pour le contrôle rapide d'appareils dont les caractéristiques sont simples (utilisation d'ondes carrées pour le contrôle des amplificateurs). Mais dans l'étude des haut-parleurs, elle donne des résultats sur lesquels il est bien difficile de baser un jugement de qualité, sauf en ce qui concerne d'importantes résonances non amorties qu'on peut aussi remarquer à l'examen de la courbe de réponse en amplitude.

Une autre méthode consiste à exciter le haut-parleur avec une tension alternative d'une fréquence donnée, qui est enclenchée et interrompue brusquement. L'étude de l'oscillogramme du phénomène met en évidence (fig. 6) la déformation subie par les transitoires. Comme nous l'avons vu, les déformations sont prévisibles à partir de la courbe de réponse. *Helmbold* [2] a montré expérimentalement cette corrélation. Elle peut aussi être montrée mathématiquement, mais ce serait un travail énorme que de calculer exactement à partir de chaque courbe de réponse, les déformations à prévoir. L'étude des haut-parleurs avec des trains d'ondes est intéressante en soi, et l'on peut envisager son utilisation pour évaluer la qualité de reproduction des transitoires, mais ceci

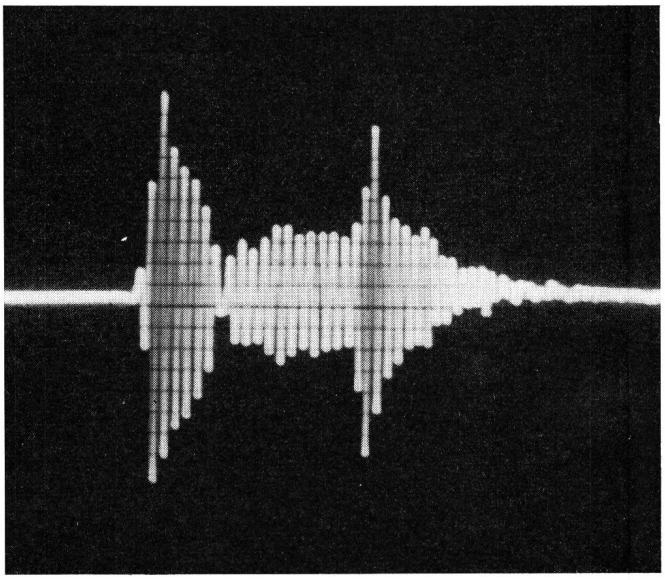

Fig. 6. Déformation subie dans un haut-parleur par un train d'ondes à front carré. On a ici typiquement le cas représenté à la figure 4

seulement à condition de faire des essais pour déterminer l'influence subjective des diverses déformations observées oscillographiquement. Toutefois, étant donnée la corrélation étroite entre la courbe de réponse et ces déformations, il nous paraît plus simple que les essais subjectifs soient faits de manière à permettre un jugement direct des courbes de réponses, sans rendre nécessaire la mesure par trains d'ondes.

Ce n'est pas l'opinion de *Shorter* [3], qui a constaté sur les haut-parleurs la présence de certaines résonances très peu amorties, mais dont l'amplitude est trop faible pour qu'on puisse les reconnaître sur la courbe de réponse (spécialement avec l'échelle logarithmique). Quand le haut-parleur est excité par un train d'ondes ayant la fréquence de cette résonance, on constate une oscillation à faible amplitude qui peut durer longtemps après que l'excitation ait été interrompue et que le gros de l'énergie émise ait disparu. L'étude de ces «résonances secondaires» présente sans contredit un certain intérêt, mais elle ne peut permettre une conclusion concernant la qualité du haut-parleur que dans la mesure où elle est appuyée par des essais subjectifs montrant jusqu'à quel point les phénomènes ainsi mesurés sont audibles. Or, les mesures faites jusqu'à présent par divers auteurs semblent montrer que ce n'est en génréal pas le cas.

Les essais de *Békésy* [4] et *Steudel* [5] montrent que la plus petite constante de temps pour laquelle on puisse encore suivre les variations d'intensité est supérieure à 15 ms. On peut aussi exprimer ce résultat en disant que, quand un son est interrompu, l'impression qu'il a créée ne cesse pas immédiatement, et qu'elle peut encore avoir un effet de masque sur des sons qui nous parviennent à bas niveau peu après l'interruption. Cet effet de masque a été mesuré directement par *Bürck*, *Kotowski* et *Lichte* [6]: juste au moment où l'on coupe un son de 780 Hz, on enclenche un son de 630 Hz à un niveau donné et on détermine combien de temps il peut rester enclenché sans être audible. Les conditions dans lesquelles est mesuré cet effet de masque ne correspondent pas vraiment à celles des résonances secondaires, pour lesquelles la fréquence formant le traînage est identique à la fréquence masquante et, de ce fait, probablement encore mieux masquée.

Dans la figure 7, on a représenté les courbes obtenues par *Doak* et *Bolt* [7] sur la base des recherches de *Haas* et *Meyer*. Ces courbes indiquent dans quelle mesure un écho, ayant un retard et un niveau donnés, est gênant pour l'écoute de la parole. Elles ne s'appliquent pas directement au cas que nous discutons, mais sont intéressantes à titre comparatif. Le trait pointillé est la courbe de décroissance exponentielle la plus longue pour laquelle on ait l'impression que le son se termine sans traînage. La ligne trait-pointée correspond à l'effet de masque d'après *Bürck*, *Kotowski* et *Lichte*. La zone hachurée est celle où s'observent les phénomènes dus aux résonances secondaires. Il semble donc très probable que ces phénomènes ne sont pas audibles (si une série d'expériences plus précises devait montrer qu'ils sont tout de même perceptibles dans certains cas, ils n'en gagneraient pas pour cela beaucoup d'intérêt, car ils sont en général d'un niveau inférieur aux effets de réverbération qui s'introduisent au moment de la prise de son).

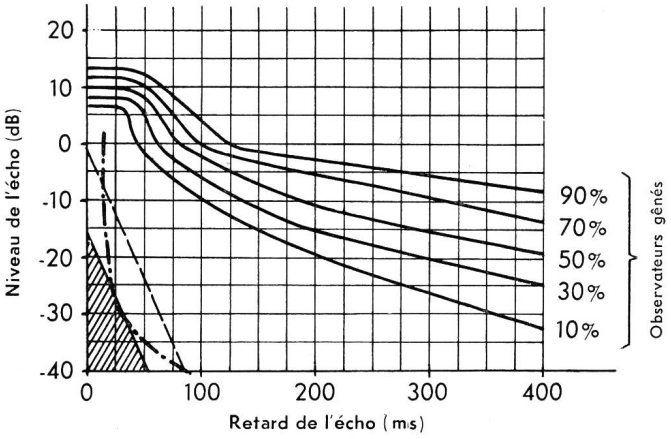


Fig. 7. Comparaison de différentes mesures: le point zéro représente l'intensité du signal au moment de son interruption.
*Courbes pleines:* Critère de *Doak* et *Bolt* pour la réponse transitoire d'une salle (effet des échos).
*Ligne pointillée:* Limite de l'audibilité d'une décroissance exponentielle (à 70 phones) d'après *Békésy*
*Ligne trait-point:* Effet de masque sur un son d'une autre fréquence enclenché juste au moment de la coupure — d'après *Bürck*, *Kotowski* et *Lichte*.
*Hachuré:* Zone où s'observe l'effet des résonances secondaires

En conclusion, nous pouvons dire que l'étude directe des haut-parleurs en régime transitoire présente un intérêt de principe. Mais si l'on veut établir un critère de qualité pour la reproduction des transitoires, il est

préférable de se baser directement sur la courbe de réponse. Ceci est possible seulement à condition que cette courbe contienne tous les éléments qui jouent un rôle important dans la reproduction des transitoires. Nous verrons dans la suite que cette condition est réalisée.

### Le rôle des déphasages

Nous avons dit au début que, mise à part la question de linéarité, une chaîne de transmission est caractérisée complètement par ses courbes de réponse en amplitude et en phase. Jusqu'à présent, nous n'avons parlé que de la première. La courbe de phase peut être exprimée directement par l'indication de la phase en fonction de la fréquence, mais, pour l'étude des régimes transitoires, elle est mise sous une forme plus pratique quand on indique la dérivée de la phase par rapport à la fréquence. Cette dérivée est le retard de groupe, autrement dit, le temps qu'il faut à l'énergie pour traverser la chaîne de transmission à une fréquence donnée. On sait que la phase n'est pas complètement indépendante de la réponse en amplitude [8]. Quand la réponse en amplitude est connue pour toutes les fréquences, le *déphasage minimum* est également déterminé à toutes les fréquences. Les circuits où le déphasage est égal à ce minimum sont, par exemple, ceux qui ont la forme en échelle des filtres Zobel. Si l'on introduit des couplages supplémentaires entre différentes mailles du circuit, ou encore si celui-ci comporte des éléments du genre «pont», le déphasage sera en général plus grand que le minimum calculé. Nous pouvons dire qu'un haut-parleur appartient *en théorie* à la classe des circuits de déphasage minimum. Il se peut qu'en pratique certains couplages parasites puissent causer des déphasages supplémentaires, mais ceux-ci resteront faibles. Par contre, on pourrait éventuellement constater des déphasages supplémentaires importants si un haut-parleur était construit avec un dispositif faisant contre-réaction.

Une série de mesures de phase de haut-parleurs ont été faites par *Ewaskio* et *Mawardi* [9], qui ont mis au point un appareil mesurant directement les temps de parcours. Il faudrait une analyse mathématique ardue pour étudier si la corrélation entre les courbes de phase et d'amplitude qu'ils ont mesurées correspond exactement à celle d'un circuit à déphasage minimum. On peut néanmoins constater simplement que les grosses variations du temps de parcours correspondent bien avec les variations de la courbe d'amplitude. Les mesures que nous avons faites avec des moyens plus primitifs confirment aussi la corrélation. La seule exception à la règle se trouve dans les mesures d'*Ewaskio* et *Mawardi* et concerne un haut-parleur double, pour cinéma, où l'on constate une nette différence de marche entre les sons de l'unité basse fréquence et ceux de l'unité haute fréquence. Cette différence est probablement due au fait que le cornet de l'unité basse fréquence était sensiblement plus long que l'autre.

Suivant la loi d'Ohm, l'impression subjective produite par un son complexe en état stationnaire, ne change pas si les composants sont déphasés les uns par rapport aux autres. Il a été montré [10] que cette loi n'est pas absolument exacte (à cause des distorsions non linéaires qui se produisent dans l'oreille, surtout pour un niveau acoustique élevé). Toutefois, on peut considérer l'influence de la phase en régime stationnaire comme tout à fait secondaire.

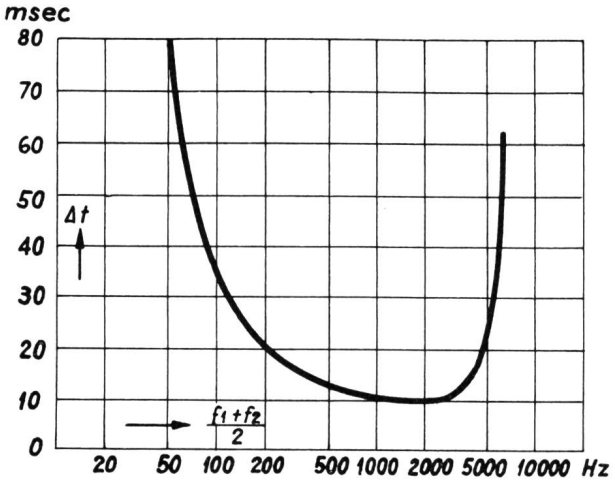


Fig. 8. Limite de perceptibilité de la différence de marche entre deux sons de fréquences $f_1$ et $f_2$, en fonction de $(f_1+f_2)/2$ avec $f_2 = 1{,}1\ f_1$. D'après *Bürck*, *Kotowski* et *Lichte* [11]

Nous avons vu que la dérivée de la courbe de phase donne le retard que subit un train d'onde en traversant la chaîne. Si donc la phase n'est pas une fonction linéaire de la fréquence, le temps de parcours ne sera pas le même pour toutes les fréquences, et les phénomènes transitoires qui se composent de toute une bande de fréquences, seront déformés. Ces déformations ne sont toutefois sensibles à l'oreille que si elles dépassent une certaine limite. La sensibilité de l'oreille aux différences de temps de parcours, a été mesurée par *Strecker* et *Bürck*, *Kotowski* et *Lichte* [11], qui ont utilisé deux haut-parleurs auxquels on faisait émettre au même instant chacun un son. Un des haut-parleurs était avancé ou reculé, de manière à créer une différence de marche entre les deux sons. On ne peut pas résumer ici les résultats très complets et très intéressants obtenus par ces chercheurs, et nous reproduisons seulement une courbe (fig. 8) qui donne l'allure générale des résultats obtenus en fonction de la fréquence.

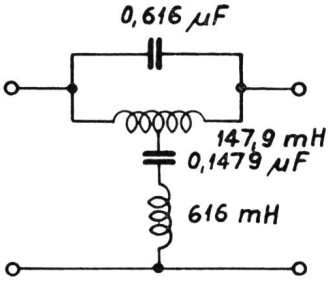


Fig. 9. Circuit utilisé pour faire tourner la phase très rapidement aux environs de 524 Hz, avec très peu d'atténuation

Nous avons aussi effectué des mesures subjectives pour étudier le cas particulier où les différences de marche sont provoquées par un ensemble de circuits résonnants. Le circuit de base que nous avons utilisé est représenté à la figure 9. Il n'a théoriquement pas d'atténuation à aucune fréquence, mais on a néanmoins utilisé un circuit correcteur pour compenser les pertes des circuits oscillants qui provoquaient un trou de 1,2 dB. Avec le correcteur, la courbe de réponse était plate à une petite fraction de dB près. La différence de marche obtenue, est représentée à la figure 10 en fonction de la fréquence. Elle comporte un maximum de 5 ms pour la fréquence 524 Hz.

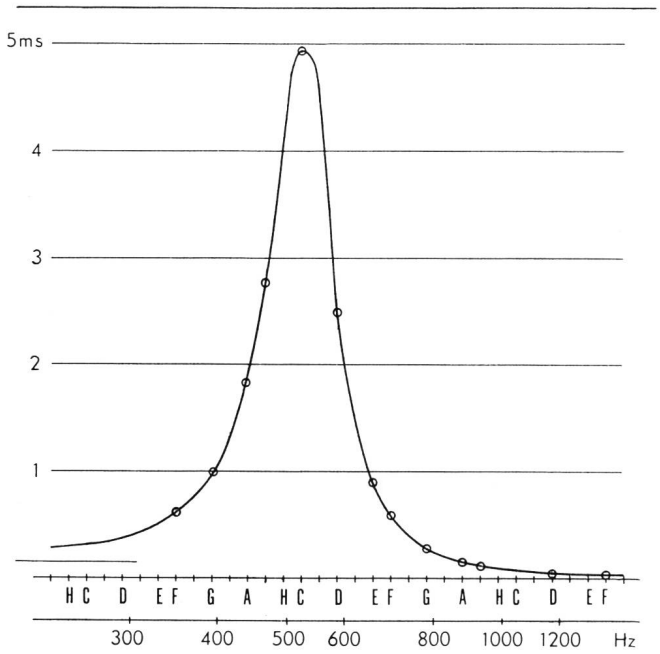


Fig. 10. Retard de groupe obtenu avec une section du filtre de la figure 9

Nous avons utilisé jusqu'à 7 sections du filtre déphaseur et les avons disposées suivant le schéma de la figure 11, qui permet de réaliser toutes les valeurs du retard, de 0 à 35 ms sans changer l'atténuation. Les résultats que montre la figure 12 ont été obtenus avec des trains d'ondes de la fréquence 524 Hz et représentent le pourcentage de cas où un train d'onde déformé peut être distingué d'un train d'onde n'ayant pas traversé le filtre. Cette courbe montre que la limite pratique d'audibilité est de l'ordre de 10 ms. L'expérience a montré, par contre, que pour des observateurs non exercés, même avec une ouïe parfaite, la limite est entre 15 et 20 ms.

Pour permettre la comparaison avec d'autres expériences, il est nécessaire d'indiquer ici tous les détails d'exécution pratique; les essais ont été faits pour une oreille, avec un écouteur dynamique dont la courbe de réponse est excellente. En l'essayant sur une oreille artificielle, on ne peut constater à l'oscillographe aucune déformation des transitoires dans la bande de fréquences utilisée. On s'est efforcé de rendre les résultats complètement indépendants de tout élément d'appréciation personnelle. Pour déterminer à quel point un sujet reconnaît un certain degré de déformation, on a utilisé des trains d'ondes à 524 Hz durant environ 1 seconde, séparés par des intervalles égaux à leur longueur. Ces signaux

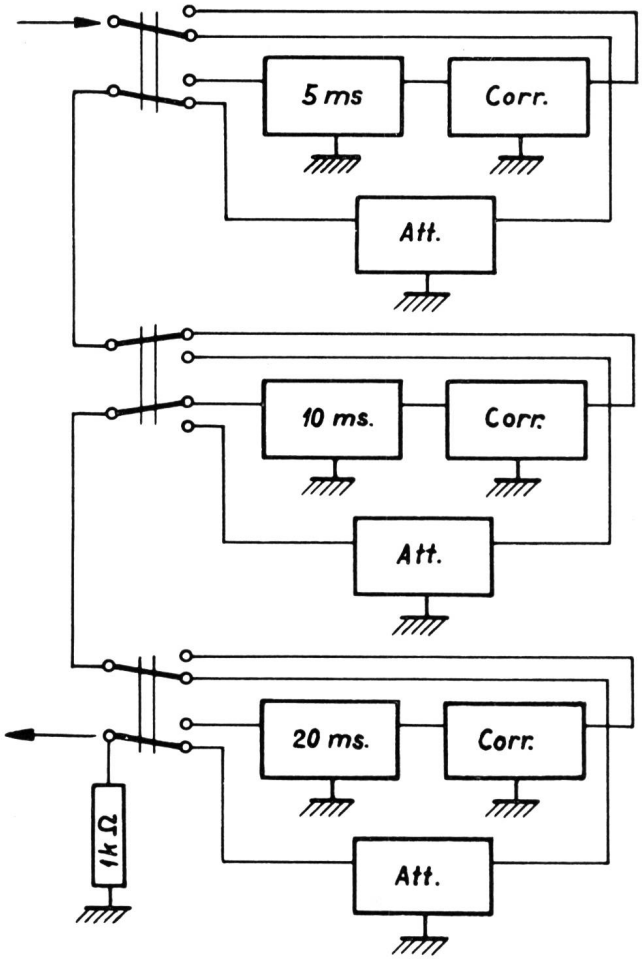


Fig. 11. Schéma d'ensemble des circuits déphaseurs

étaient groupés par séries de 6, dont les trois premiers n'étaient pas déformés, et les trois suivants étaient déformés *en moyenne* une fois sur deux (le choix étant fait au hasard). Ces séries de 6 signaux étaient répétés 16 fois pour chaque valeur de la déformation (8 fois pour plus de 20 ms) et pour chaque sujet. Si le sujet reconnaît correctement, pour chaque série, si les trois derniers signaux sont normaux ou non, cela signifie qu'il entend la déformation à 100 %. Si, par contre, il ne remarque pas du tout la déformation, le hasard lui fera donner une réponse juste dans 50 % des cas en moyenne. Avec A = pourcentage d'audibilité, B = pourcentage de réponses justes, on a en moyenne:

$$B = A + \frac{100-A}{2} \quad \text{ou} \quad A = 2B-100$$

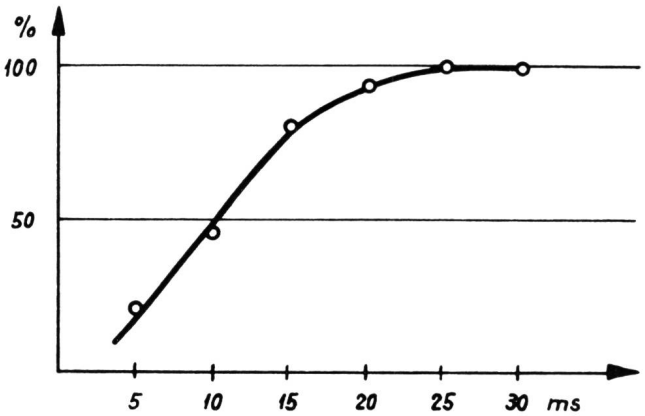


Fig. 12. Pourcentage d'audibilité des déformations dues au déphasage du circuit de la figure 9

Chaque fois qu'on commence à expérimenter avec une nouvelle valeur de la déformation on fait entendre au sujet 10 signaux normaux et 10 signaux déformés, pour qu'il sache à quoi s'attendre.

Dans la moyenne finale, 50% d'audibilité peut signifier, soit que 50% des sujets reconnaissent parfaitement la déformation et les autres pas du tout, soit que tous les sujets reconnaissent la déformation une fois sur deux. En fait, on a toujours un cas intermédiaire entre ces extrêmes.

Les essais ont porté sur 15 personnes, ce qui représente 240 essais pour chaque valeur de la déformation. Malgré ce grand nombre, l'étude de la dispersion des résultats montre que l'erreur probable sur la moyenne reste assez élevée.

Au cours des essais, nous avons constaté différents effets intéressants.

Au début, nous avons expérimenté avec des séries de 6 signaux dont les trois premiers étaient normaux et les trois suivants pouvaient avoir n'importe quel degré de déformation (choisi au hasard); le sujet devait indiquer s'il entendait une déformation ou non. Si l'on procède de cette manière, on arrive à la conclusion que la déformation produite par 10 ms de retard n'est pratiquement pas audible. Par contre, les résultats finaux sont faussés parce que certains sujets ont tendance à indiquer tous les signaux comme déformés, même s'ils ne remarquent pas la déformation. Dans la méthode décrite au début, on a éliminé cet effet psychologique en utilisant un nombre égal de séries avec déformation et sans déformation. En outre, le fait d'utiliser toujours le même degré de déformation pendant toute une expérience (16 séries de 6 signaux) permet au sujet de mieux reconnaître les faibles déformations.

La majorité des sujets ne pouvaient même pas, au début, reconnaître les signaux déformés par 20 ms de retard. On les a exercés par de nombreux essais préliminaires et en choisissant le niveau où ils obtenaient le meilleur résultat. Le résultat était considéré comme valable quand on ne pouvait plus l'améliorer.

Nous avons aussi fait des essais en employant d'autres fréquences que 524 Hz et obtenu pratiquement les mêmes résultats. On pouvait s'y attendre. En effet, quelle que soit la fréquence enclenchée, le clac d'enclenchement contient la bande de fréquences environnant 524 Hz qui est retardée par le filtre et forme un traînage après chaque claquement. En principe, on obtiendrait les mêmes résultats en utilisant des claquements isolés, obtenus par des décharges de condensateur. Toutefois, il est plus difficile de travailler avec des impulsions très brèves qu'avec des signaux musicaux rythmés qui permettent au sujet de concentrer son attention au moment voulu.

Si l'on utilise pour les expériences un écouteur ayant une résonance aux environs de la fréquence retardée par le filtre, les déformations sont plus faciles à reconnaître. En effet, l'intensité du clac se trouve atténuée, alors que l'intensité du traînage produit par le filtre est renforcé; on remarque donc mieux ce traînage. Nous avons aussi utilisé notre filtre pour l'essai suivant: une phrase musicale jouée par un piano, de manière que les notes soient attaquées le plus sèchement possible, a été enregistrée sur magnétophone. La fréquence de chaque note est indiquée par un cercle sur la figure 10. L'enregistrement a été joué dans une salle à réverbération moyenne par les meilleurs haut-parleurs du commerce. Dans ces conditions, aucun observateur n'a pu remarquer de différence entre la reproduction normale et la reproduction déformée par les 7 sections du filtre totalisant donc 35 ms de retard pour la fréquence d'une des notes.

Quelle conclusion pouvons-nous tirer de ces essais ?

Quand on étudie les effets subjectifs produits par les irrégularités de la courbe d'*amplitude*, on étudie obligatoirement du même coup l'effet des variations du *déphasage minimum* qui est toujours présent. (Ces variations peuvent donner des différences de marche atteignant 6 ms dans les fréquences moyennes, beaucoup plus dans les basses).

Les différences de marche *supplémentaires* qui peuvent se produire dans un haut-parleur sont certainement en dessous de la limite d'audibilité (sauf dans le cas où un haut-parleur se compose de plusieurs unités dont les sons n'ont pas le même chemin à parcourir; pour ce cas, voir [11]).

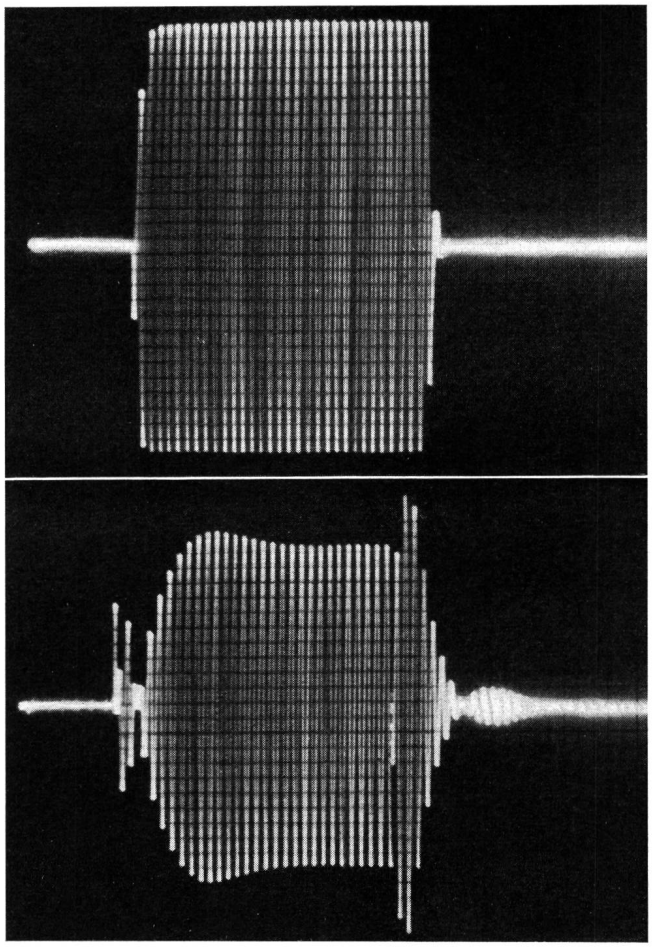

Fig. 13, 14. Ces deux trains d'ondes ont à peu près le *même degré subjectif de déformation*. Un très bon observateur arrive, dans la plupart des cas, à les distinguer du train d'onde original. La déformation montrée en haut est provoquée par un circuit résonnant très amorti, accordé sur la fréquence du signal. L'effet est semblable à celui de la figure 3. Constante de temps de l'enclenchement: env. 2 ms. En bas: train d'onde après passage dans deux sections en série du filtre déphaseur. La fréquence propre du signal est retardée de 10 ms., mais les fréquences latérales qui forment l'enclenchement et le déclenchement ne sont pas retardées. Aucune fréquence n'est atténuée.
f = 524 Hz

*Donc, l'étude de la courbe d'amplitude seule doit suffire pour déterminer la qualité de reproduction en régime transitoire.*

Une conclusion d'un autre ordre s'impose à l'examen des figures 13 et 14:

*L'examen à l'oscilloscope des déformations subies par les phénomènes transitoires, n'est pas un moyen sûr pour déterminer l'effet subjectif de ces déformations.*

## Essais d'interprétation directe de la courbe de réponse en amplitude

En étudiant les mesures de haut-parleurs faites en régime transitoire, nous avons constaté qu'il serait souhaitable de pouvoir interpréter directement les

irrégularités de la courbe de réponse en termes de leur valeur subjective. Nous avons pu nous assurer, d'autre part, qu'il n'est pas nécessaire de tenir compte des variations de la phase.

Il faut donc, pour aller plus loin, étudier par des essais *subjectifs* l'effet de différentes formes de courbes de réponse sur les phénomènes transitoires. Des essais de ce genre ont été réalisés par *Bürck*, *Kotowski* et *Lichte* [12], qui ont mesuré subjectivement l'effet des distorsions provoquées par des courbes de réponse type, comme celles des figures 3, 4 et 5. Ils ont utilisé la comparaison suivante:

Si un son pur est enclenché de manière à atteindre son amplitude finale suivant une loi exponentielle ayant une constante de temps T, l'intensité du *clac* se produisant à l'enclenchement est d'autant plus faible (par rapport à l'intensité du son lui-même), que T est grand. T = 0 correspond à l'enclenchement instantané de l'amplitude totale. T est la constante

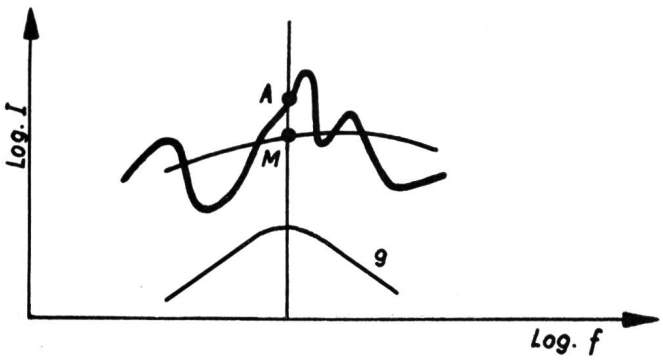


Fig. 15. Courbe de réponse et courbe moyenne

de temps objective aussi bien que subjective de l'enclenchement. Si, à l'enclenchement, l'amplitude n'a pas une variation exponentielle, il y a néanmoins un rapport bien déterminé entre l'intensité du *clac* et l'intensité du son. La constante de temps subjective de cet enclenchement est définie comme étant celle d'un enclenchement exponentiel ayant le même rapport d'intensités entre le *clac* et le son. La constante de temps subjective définie ainsi tient compte seulement de l'intensité du clac et pas de son timbre qui peut varier aussi. On a toutefois négligé cette circonstance. Les résultats obtenus par *Bürck*, *Kotowski* et *Lichte* peuvent être interprétés comme suit (fig. 15): le clac d'enclenchement étant un phénomène à large bande, l'intensité avec laquelle il est reproduit dépend d'une moyenne de la courbe de réponse (point M). Par contre, le son lui-même est reproduit avec l'intensité correspondant à la courbe de réponse (point A). Si la différence de niveau entre A et M dépasse 1,5 à 2 dB, la différence d'intensité est perceptible. Le lieu des points M obtenus à toutes les fréquences, forme une courbe qui est une sorte de moyenne de la courbe originale. Il nous semble très probable que la surface comprise entre la courbe originale et la courbe moyenne puisse être une base de comparaison entre deux haut-parleurs quant à leur qualité de reproduction des transitoires. On peut naturellement faire l'évaluation de cette surface en donnant plus de poids aux bandes de fréquences les plus importantes pour la reproduction. Quant aux déformations du timbre, dont nous avons parlé rapidement, une étude montrera qu'elles sont en relation avec la pente de la courbe moyenne.

Cette théorie n'a pas de valeur tant qu'elle ne peut être mise à l'épreuve de l'expérience, et l'auteur, qui interrompt ici ses recherches, regrette de devoir présenter ces idées sans pouvoir les appuyer par des expériences concluantes.

Le premier problème à résoudre est la détermination de la courbe moyenne à partir de la courbe de réponse normale, d'une manière qui corresponde aux effets subjectifs. Par exemple, il faut que les deux courbes se coupent aux points où la constante de temps subjective est nulle. D'une manière générale, on doit pouvoir obtenir chaque point M en multipliant la courbe de réponse par une courbe de poids $g$ (qu'il faut déterminer) et en intégrant la courbe obtenue. Les calculs et les essais qui sont nécessaires jusqu'à ce qu'on trouve la bonne combinaison, sont longs et fastidieux. Mais une fois cette méthode établie, on peut envisager un procédé optique ou électrique pour déterminer rapidement la courbe moyenne en partant de la courbe de réponse.

### Effets de l'écoute binauriculaire

A supposer qu'il soit possible de réaliser un haut-parleur parfait, c'est-à-dire avec une courbe de réponse plate pour toutes les fréquences audibles et un diagramme de directivité identique pour toutes les fréquences, on éviterait complètement la distorsion des transitoires, mais seulement en champ libre.

Dans un local réverbérant, une large proportion de la pression acoustique en un point donné est due à des ondes qui ne parviennent à ce point qu'après de multiples réflexions. Il s'ensuit une distorsion des phénomènes transitoires tout à fait semblable à celle qu'on rencontre dans les haut-parleurs, à ceci près que les constantes de temps sont en général plus longues (T = temps de réverbération/6,9). Si la source émet un son continu de fréquence fixe, la pression acoustique varie fortement d'un point à un autre de la salle, ce qu'on peut mettre en évidence en déplaçant un microphone sur un chariot. Si le microphone reste fixe en un point quelconque de la salle, et que nous varions la fréquence de la source, nous obtiendrons la courbe de réponse valable pour le point où se trouve le microphone. La déformation des transitoires en ce point est coordonnée à cette courbe de réponse, comme c'est le cas pour un haut-parleur. Si, à une fréquence donnée, correspond une réponse supérieure à la moyenne, l'enclenchement d'un son pur sera perçu avec une constante de temps positive, et le clac de l'enclenchement qui est reproduit avec l'intensité moyenne, paraîtra faible par rapport au son. On aura le cas contraire pour une fréquence à laquelle correspond une réponse en dessous

de la moyenne. Remarquons en passant que le timbre du clac ne variera pratiquement pas dans ce cas, car les maxima et les minima sont si nombreux qu'il n'y a pas de dissymétrie importante de la courbe de réponse par rapport à aucun point. La courbe moyenne aura pratiquement une pente nulle.

Quand on fait une prise de son, le seul moyen d'éviter des déformations exagérées est de recueillir autant que possible les sons directs. Si, dans une salle de concert, on plaçait un microphone au milieu du public, la reproduction serait très mauvaise à cause d'une déformation exagérée des transitoires. Une des raisons principales pour laquelle les auditeurs directs ne sont pas sensibles à ces déformations est que leurs deux oreilles prennent le son en deux points différents de l'espace.

Si l'on excepte la zone des basses fréquences pour lesquelles le quart de longueur d'onde est plus grand que la distance entre les oreilles, la chance est relativement faible que, pour une fréquence donnée, les oreilles se trouvent toutes deux dans un minimum ou dans un maximum de pression. Il se produit donc une sorte d'égalisation de la courbe de réponse, après laquelle la plupart des minima et maxima les plus aigus ont disparu.

Revenons maintenant au haut-parleur dont nous pouvons constater que sa courbe contient de nombreuses irrégularités. La distorsion des phénomènes transitoires correspondra à ces irrégularités si l'on se place exactement dans les conditions où elles ont été mesurées (écoute à une oreille dans une chambre sourde).

Par contre, il n'est pas du tout certain que ces déformations subsistent inchangées, si l'on écoute des deux oreilles.

Prenons l'exemple d'un creux que nous constatons dans la caractéristique du haut-parleur. S'il est dû à un effet de résonance de tout le système vibrant, la caractéristique aura la même forme générale quel que soit le point de l'espace où on mesure, car c'est toute l'énergie rayonnée qui diminue pour une certaine fréquence. Si, par contre, le trou que nous mesurons est dû à un effet d'interférence entre les différentes parties du système vibrant, un petit déplacement du microphone peut faire disparaître le trou ou le faire apparaître à une autre fréquence.

Dans un cas de ce genre, la déformation des phénomènes transitoires pour la bande de fréquences considérée sera fortement diminuée dès qu'on se servira des deux oreilles. De plus, quand le haut-parleur sera utilisé dans une salle, ces effets d'interférence se confondront avec ceux de la salle et ne pourront plus guère s'en distinguer.

Il est donc important de déterminer si les irrégularités de la courbe de réponse d'un haut-parleur sont bien des variations de toute l'énergie émise ou seulement des effets d'interférence. Pour faire cette détermination, on peut mesurer plusieurs fois la caractéristique du haut-parleur en plaçant chaque fois le microphone à un endroit différent. Toutefois, il est très difficile d'arriver à ce que les échelles de fréquence des enregistrements successifs correspondent bien entre elles. On peut aussi placer plusieurs microphones dans l'espace et faire varier la fréquence lentement pendant qu'on commute assez rapidement d'un microphone sur l'autre. Ce système est bon, à cela près que la commutation peut présenter des difficultés et qu'on doit utiliser des microphones ayant la même caractéristique, ce qui n'est en général réalisable que sur une partie de la gamme des fréquences.

Le problème a été résolu par l'utilisation d'un seul microphone entraîné dans un mouvement rotatif

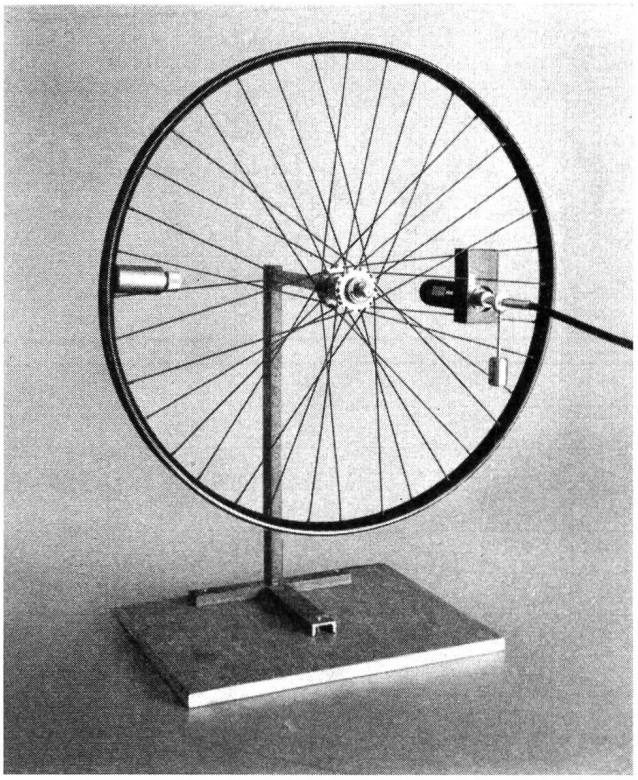

Fig. 16. Dispositif permettant de tenir un microphone en mouvement rotatif. Un contrepoids maintient le microphone parallèle à lui-même pour que le câble ne s'entortille pas. La roue est entraînée par une corde passant sur la jante. A chaque tour, le microphone passe derrière la barre qui supporte l'ensemble, mais l'effet de celle-ci ne se remarque qu'au-dessus de 3...4000 Hz et n'est pas gênant

pendant qu'on fait lentement varier la fréquence. Le dispositif permettant de faire tourner le microphone est représenté à la figure 16. Les enregistrements que nous reproduisons ont été réalisés en chambre sourde dans les conditions suivantes: variation de fréquence = 0,86 octave/minute; vitesse du microphone = 34 tours/minute; distance haut-parleur microphone = 2 m 50; diamètre du cercle décrit par le microphone = 40 cm. Un point de ce cercle est dans l'axe du haut-parleur. C'est dans cette position qu'ont été enregistrées les caractéristiques avec microphone immobile.

Les résultats obtenus sont représentés dans les figures 17, 18 et 19. Les deux premières sont des parties de la courbe de réponse de deux haut-parleurs différents qui présentent l'une et l'autre un trou à flancs assez raides, dans le voisinage de 1000 Hz. Pour montrer la structure fine des variations, on a utilisé une vitesse de papier de 60 mm/min., qui est grande par rapport à la variation de fréquence. De ce fait, on a l'impression que les courbes sont assez plates, mais on verra, à l'examen, que les variations de niveau sont en réalité rapides. Le micro tournant révèle que dans un cas (fig. 17) on a un trou qui

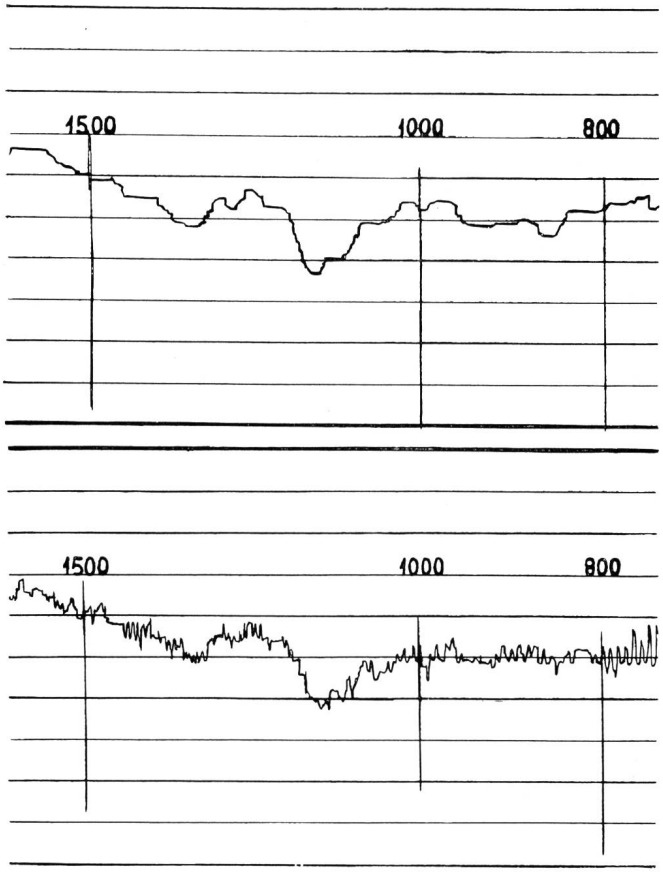


Fig. 17. Section de la courbe de réponse d'un haut-parleur pour lequel on voit que les variations d'énergie sont les mêmes en tous les points où passe le microphone. Echelle: 1 trait par 5 dB. En haut, microphone immobile. En bas, microphone tournant

affecte bien toute l'énergie émise, tandis que dans l'autre cas (fig. 18) il s'agit d'un effet d'interférence.

Le micro tournant est spécialement utile pour mesurer la courbe de réponse des haut-parleurs montés en cabinet et formés par plusieurs unités entre lesquelles se produisent de nombreuses interférences.

Les enregistrements de la figure 19 ont été faits avec un haut-parleur qui rayonne les hautes fréquences par une série de cornets placés au centre de la membrane basse fréquence; ils montrent une interférence typique entre les deux systèmes.

## Conclusions

Nous espérons avoir démontré de manière convaincante que si l'on désire obtenir un jugement de

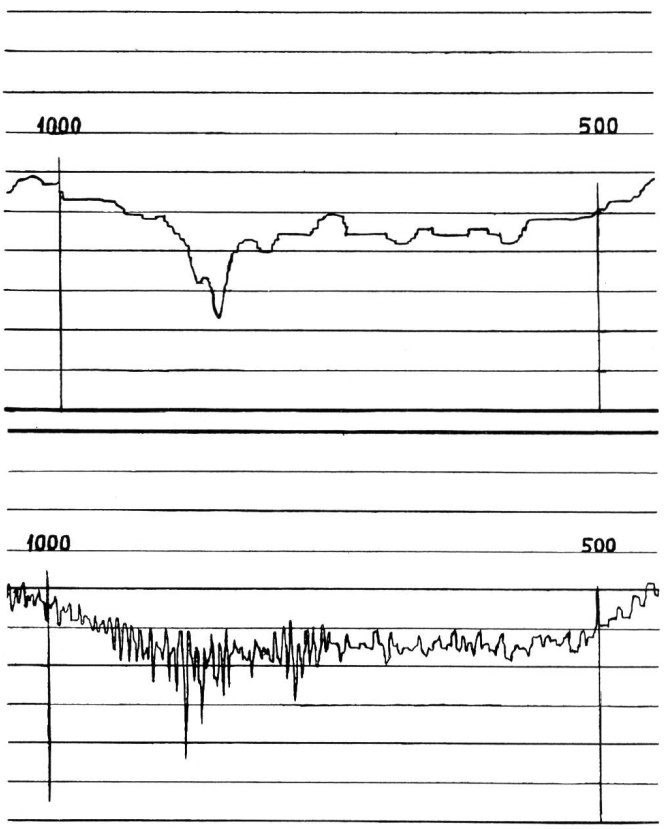


Fig. 18. On voit qu'ici les variations indiquées par le microphone immobile sont dues à un effet d'interférence. Le papier se déplace de 1,75 mm pendant que le microphone fait un tour

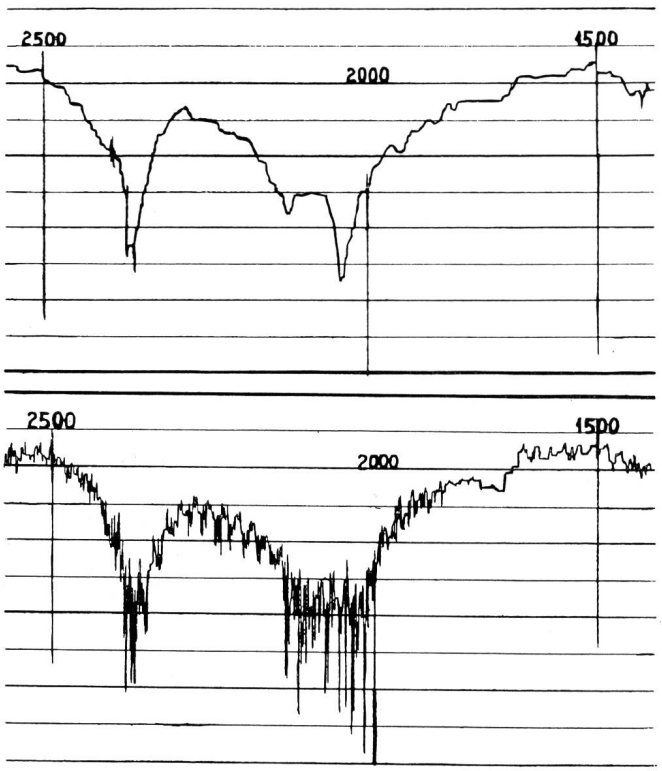


Fig. 19. Section de la courbe de réponse d'un haut-parleur où les hautes fréquences sont rayonnées par une série de cornets

qualité sur un haut-parleur en ce qui concerne sa fidélité de reproduction des transitoires, il faut baser son jugement sur la courbe de réponse en amplitude. Nous ne sommes malheureusement pas en mesure de donner plus qu'une ébauche de la méthode qui doit permettre de mesurer les irrégularités de la courbe en termes de déformations subjectives. Nous espérons toutefois que cette méthode pourra être mise au point par la suite. Il ne faut pas oublier que ceux qui mesurent directement la déformation des transitoires par observation oscillographique ne sont, pour le moment, pas plus capables que nous de juger l'importance subjective de ces déformations.

On peut regretter de voir que les mesures de haut-parleurs sont si compliquées et demandent un matériel si important que seuls les grands laboratoires peuvent les réaliser. On hésite alors à envisager de nouveaux raffinements qui compliquent encore ces mesures.

A cela il faut répondre que le haut-parleur électrodynamique est un ensemble complexe dont seule la théorie élémentaire est accessible aux mathématiques et que, d'autre part, notre oreille est l'instrument le plus complet et l'un des plus sensibles qui soient, bien qu'elle ne nous permette guère de faire des mesures absolues. C'est pour cela qu'on ne peut pas renoncer à étudier toujours plus à fond ce domaine de l'acoustique qui fait le pont entre la science de la reproduction, d'une part, et la physiologie de l'audition, d'autre part.

Nous devons en terminant remercier très vivement le chef de la division des recherches et essais de la direction générale des PTT, le professeur Willy Furrer, qui non seulement a été l'instigateur de ces recherches, mais les a constamment appuyées de ses précieux conseils.

**Adresse de l'auteur:** *J.-C. Hentsch*, ing. dipl. EPF, Seefeldstrasse 60, Zurich.

**Bibliographie**

[1]. *H. J. von Braunmühl* und *W. Weber*. Über die Störfähigkeit nichtlinearer Verzerrungen. Akust. Z. **2** (1937), 135.
[2]. *J. G. Helmbold*. Oszillographische Untersuchungen von Einschwingvorgängen bei Lautsprechern. Akust. Z. **2** (1937), 256.
[3]. *D. E. L. Shorter*. Loudspeaker Transient Response. Its Measurement and Graphical Representation. BBC Quart. **1** (1946), 121.
[4]. *G. v. Békésy*. Über die Hörsamkeit der Ein- und Ausschwingvorgänge mit Berücksichtigung der Raumakustik. Ann. d. Phys. **16** (1933), 844. Cité par *Stevens* and *Davis* [13], p. 222.
[5]. *U. Steudel*. Über Empfindung und Messung der Lautstärke. Hochfrequenztechn. u. Elektroakust. **41** (1933), 116.
[6]. *W. Bürck, P. Kotowski* und *H. Lichte*. Dynamikgeregelte Verstärker und Klartonsteuerungen. Elektr. Nachr. Techn. **13** (1936), 47.
[7]. *P. E. Doak* and *R. H. Bolt*. A Tentative Criterion for the Short Term Transient Response of Auditoriums. J. Acoust. Soc. Am. **22** (1950), 507.
[8]. *H. W. Bode*. Network Analysis and Feedback Amplifier Design. New York 1945.
[9]. *C. A. Ewaskio* and *O. K. Mawardi*. Electroacoustic Phase Shift in Loudspeakers. J. Acoust. Soc. Am. **22** (1950), 444.
[10]. *E. K. Chapin* and *F. A. Firestone*. The Influence of Phase on Tone Quality and Loudness. J. Acoust. Soc. Am. **15** (1934), 173. Cité par *Stevens* and *Davis* [13], p. 204.
[11]. *W. Bürck, P. Kotowski* und *H. Lichte*. Die Hörbarkeit von Laufzeitdifferenzen. Elektr. Nachr. Techn. **12** (1935), 355.
[12]. *W. Bürck, P. Kotowski* und *H. Lichte*. Höruntersuchungen von Einschwingvorgängen bei Elektroakustischen Übertragungssystemen. Elektr. Nachr. Techn. **13** (1936), 1.
[13]. *S. S. Stevens* and *H. Davis*. Hearing. New York 1938.

# Selbstwahl-Einrichtungen für den Fernschreibverkehr*

Von *Max Fässler, Zürich.*

621.394.341

**Zusammenfassung.** *Der Aufbau unserer automatischen Fernschreibzentralen sowie der Teilnehmereinrichtung und deren Betrieb werden beschrieben. Die grundsätzlichen Analogien und Unterschiede zwischen Telephon- und Fernschreibverkehr werden besonders hervorgehoben. Die Verbindungsdiagramme der Teilnehmerausrüstung, der Fernschreibzentrale und der Fernverbindungen werden eingehend erläutert.*

**Summary.** *The construction of our automatic teleprinter-exchanges as well as the service instructions of the subscriber connection device are described. The fundamental analogies and differences between telephone- and teleprinter-exchanges are especially set forth. The circuit diagrams of the subscriber connection device, of the exchange and of the toll lines are also accurately explained.*

## Entstehung und Betriebsform

In der Zeit vor der Entwicklung der Fernschreibmaschine wurden schriftliche Nachrichten meistens nur zwischen den einzelnen Telegraphenbureaux durch Telegraphenapparate übermittelt. Für Aufgabe und Zustellung der Telegramme wurden andere Verkehrsmittel beansprucht. Durchgehende Verbindungen von Absender zu Empfänger, wie sie sich beim Telephon rasch einbürgerten, waren beim Telegraphen nicht üblich. Ein Grund dafür war, dass die Telegraphenapparate zur Bedienung geübtes Personal erforderten.

Der modernen Fernschreibmaschine aber haftet dieser Nachteil nicht mehr an. Ihre Bedienungsweise unterscheidet sich kaum noch von derjenigen einer gewöhnlichen Schreibmaschine. Zusammen mit der Verdichtung des Leitungsnetzes bot diese Eigenschaft die Möglichkeit, nunmehr auch die schriftliche Nachrichtenübermittlung sich direkt zwischen Absender und Empfänger abspielen zu lassen. Dies führte zum Bau von manuellen und automatischen Fernschreib-Vermittlungseinrichtungen.

Heute besitzen die meisten europäischen Länder Fernschreibnetze, sogenannte Telex-Netze, wie die

*) Die vorliegende Arbeit entnehmen wir mit freundlicher Erlaubnis der Firma *Albiswerk Zürich AG.* den Albiswerk-Berichten 1951, Nr. 1, S. 4...16. Übersetzungen in französischer und italienischer Sprache folgen in der nächsten Nummer.