

Mesures acoustiques et mesures psychoacoustiques

Autor(en): **Benguerel, André-Pierre**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin technique de la Suisse romande**

Band (Jahr): **99 (1973)**

Heft 4

PDF erstellt am: **11.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-71644>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Mesures acoustiques et mesures psychoacoustiques

par ANDRÉ-PIERRE BENGUEREL, ingénieur EPFL, Ph. D., professeur à l'Université de Colombie britannique

Si nous demandons à l'homme de la rue ce qu'est un son, il nous répondra probablement que c'est ce que nous entendons. Pour le physicien cependant, la réponse sera assez différente: le son est un mouvement organisé de molécules, une onde de pression se propageant dans un certain milieu matériel. Le psychologue, lui, tendra davantage à être d'accord avec l'homme de la rue: pour lui, le son est une sensation, quelque chose qui n'existe qu'en nous. Cette sensation n'apparaît que quand une onde sonore excite l'appareil auditif et envoie des impulsions nerveuses au cortex par l'intermédiaire du nerf auditif. Nous n'allons pas essayer de déterminer laquelle des définitions ci-dessus est correcte, mais bien plutôt nous admettrons qu'elles sont compatibles entre elles. Il y a en effet au moins deux points de vue à partir desquels on peut étudier les sons et leurs effets: l'acoustique et la psychoacoustique. L'acoustique est la branche de la physique qui étudie plus particulièrement les phénomènes vibratoires dans les solides, les liquides et les gaz. Dans cet article, nous nous bornerons essentiellement à ceux qui se produisent dans l'air. La psychoacoustique, elle, est la partie de la psychophysique qui étudie les relations entre celles de ces vibrations que nous pouvons «entendre» et les sensations subjectives qu'elles provoquent dans l'appareil auditif.

Avant de décrire et de discuter la mesure des paramètres psychoacoustiques, nous commencerons par rappeler quelques définitions d'acoustique dont nous aurons besoin par la suite.

Acoustique

On appelle *pression sonore* p en un point donné l'écart quadratique moyen de la pression autour de la pression moyenne en ce point. On la mesure avec les mêmes unités que la pression atmosphérique, en N/m^2 (Pascal) ou en baryes par exemple. A 1000 Hz, un son ayant une pression sonore de $2 \cdot 10^{-5}$ Pa (N/m^2) (= $2 \cdot 10^{-4}$ barye) est juste au-dessous du seuil d'audition. Ceci montre que l'oreille humaine peut détecter des variations de l'ordre du dix milliardième de la pression atmosphérique. A l'autre bout de l'échelle, le seuil de sensation douloureuse se situe aux environs de 200 Pa.

Vu que le domaine dynamique de perception de l'oreille est si étendu, il est souvent plus pratique d'utiliser une échelle de pression logarithmique. Pour cette raison, on définit le *niveau de pression sonore (NPS)* en fonction du logarithme du quotient de la pression sonore p à une pression sonore de référence p_0 . Dans presque tous les cas, $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa. Le niveau de pression sonore, mesuré en dB (décibel), est donné par l'expression:

$$NPS \text{ [dB]} = 20 \log \frac{p}{p_0}$$

Dans ces conditions, le seuil d'audition correspond à peu près à 0 dB alors que le seuil de sensation douloureuse est situé aux environs de 140 dB.

La *vitesse de vibration* (ou vitesse particulière) v est la vitesse d'un volume élémentaire du milieu par rapport à ce milieu, cette vitesse étant produite par le passage d'une onde sonore. Il s'agit, ici aussi, d'un écart quadratique moyen (de vitesse) et il est exprimé en m/s.

L'*impédance acoustique spécifique* z est le quotient complexe de la pression sonore par la vitesse de vibration:

$$z = \frac{p}{v}$$

alors que l'*impédance acoustique* Z est égale au quotient complexe de la pression sonore par la vitesse volumique ($\dot{V} = v \cdot S$):

$$Z = \frac{p}{\dot{V}} = \frac{p}{v \cdot S} = \frac{z}{S}$$

S étant la surface au travers de laquelle la vitesse volumique est mesurée. Pour Z , l'unité de mesure est l'ohm acoustique M.K.S. (N.s/m^3) alors que pour z , c'est le rayl M.K.S. (N.s/m^2).

On appelle *intensité sonore* I la quantité moyenne d'énergie, portée par l'onde, qui traverse par unité de temps un élément de surface unité perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde. (En fait, il serait plus correct de l'appeler densité de courant d'énergie.) L'intensité sonore est mesurée en W/m^2 ; elle est égale à

$$I = p \cdot v = \frac{p^2}{z}$$

On appelle *niveau d'intensité sonore NI* la quantité

$$NI \text{ [dB]} = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

où I_0 est l'intensité sonore de référence. Pour une onde progressive plane ou sphérique dans l'air, cette référence est en général de 10^{-12} W/m^2 , ce qui correspond approximativement à la référence de pression sonore ($2 \cdot 10^{-5}$ Pa). Le tableau ci-dessous donne une comparaison de ces différentes grandeurs dans l'air:

	Pression sonore [Pa]	Intensité sonore [W/m^2]	Vitesse de vibration [m/s]	Niveau (NPS ou NI) [dB]
Seuil d'audition	$2 \cdot 10^{-5}$	10^{-12}	$5 \cdot 10^{-8}$	0
	$2 \cdot 10^{-3}$	10^{-8}	$5 \cdot 10^{-6}$	40
	$2 \cdot 10^{-1}$	10^{-4}	$5 \cdot 10^{-4}$	80
	20	1	$5 \cdot 10^{-2}$	120
Seuil de sensation douloureuse	200	100	$5 \cdot 10^{-1}$	140

Psychoacoustique

La psychoacoustique étudie les relations existant entre nos sensations auditives et les propriétés acoustiques du stimulus. Ces dernières sont la fréquence (dans le cas d'un son pur) ou le spectre (pour les sons complexes), l'intensité et la durée. Les principaux paramètres psychoacoustiques sont la hauteur sonore, la sonie, la durée subjective et le timbre. Chacun des trois premiers paramètres est principalement fonction d'un paramètre acoustique : la fréquence pour la hauteur sonore, l'intensité pour la sonie, la durée pour la durée subjective. Cependant aucun de ces trois paramètres n'est complètement indépendant des autres paramètres acoustiques. Le timbre, lui, est une fonction de la configuration spectrale du son. Il ne s'applique donc pas au cas d'un son pur. Il sert souvent de catégorie débarras : si deux sons sont perçus comme différents mais sont caractérisés par la même hauteur sonore et la même sonie, ils « doivent » avoir des timbres différents.

Le volume et la densité sont deux autres attributs d'un son qui sont assez difficiles à définir : les sons aigus sont en général considérés comme ayant une densité subjective plus grande et un volume moindre que les sons graves. En fait, les sons peuvent être cotés sur plus ou moins n'importe quelle échelle, que ce soit une échelle de brillance, ou de couleur par exemple. Nous nous bornerons ici à parler de la hauteur sonore, et un peu plus en détail, de la sonie.

Hauteur sonore

La *hauteur sonore* est l'attribut au moyen duquel nous pouvons coter des sons sur une échelle *bas-haut* ou *grave-aigu*. C'est aussi l'attribut grâce auquel nous reconnaissons une mélodie. C'est dans un son pur que cet attribut est le plus facilement identifiable. La hauteur sonore a deux dimensions : la hauteur tonale (ou chromatique), et la hauteur brute. La hauteur tonale est la qualité qui permet de différencier la note *la* de la note *si*, alors que la hauteur brute est la qualité qui différencie un la_{440} d'un la_{880} . Si nous imaginons les notes de la gamme réparties hélicoïdalement sur un cylindre vertical sur lequel chaque point est défini par une cote et un angle, le rayon restant constant, la dimension de la hauteur brute correspondrait à la cote, le long d'une génératrice du cylindre, alors que la hauteur tonale (ou chromatique) varierait avec la coordonnée angulaire. Le pas de l'hélice est égal à un octave.

Chaque individu varie énormément dans sa capacité de reconnaître une note ou un intervalle musical, à s'en souvenir ou à le reproduire. La pratique et les dons particuliers ont une grande importance : certains chantent faux, d'autres ont l'oreille musicale. Alors qu'en général, le seul souci du psychoacousticien est simplement que ses sujets expérimentaux aient l'ouïe normale et montrent une certaine motivation à participer à l'expérience (celle-ci étant rarement très excitante pour le sujet), dans le cas de la hauteur sonore, le psychoacousticien doit s'assurer de plus que ses sujets *n'ont pas* l'oreille musicale, ou alors au contraire, dans certains cas particuliers, que tous *ont* l'oreille musicale.

En plus de la gamme musicale, qui est simplement une échelle logarithmique de fréquence,¹ il existe une échelle psychoacoustique de la hauteur musicale. On peut l'établir

¹ En fait, l'échelle musicale traditionnelle en demi-tons constitue effectivement une échelle subjective de la hauteur sonore, mais uniquement pour les sujets qui ont l'oreille musicale, un musicien ou un accordeur de piano par exemple.

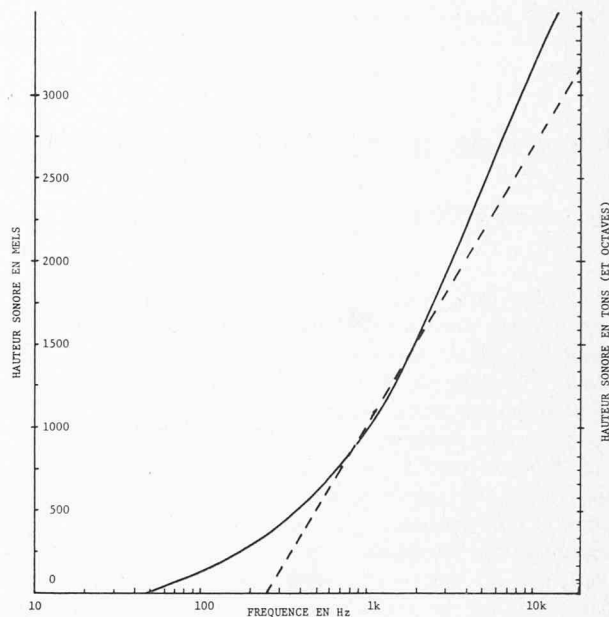


Fig. 1. — La courbe en trait plein présente la hauteur sonore en fonction de la fréquence. La ligne pointillée présente la hauteur mélodique en tons musicaux référés à 1000 Hz. Dans ce cas, tous les tons (et octaves) ont la même grandeur subjective.

de la façon suivante : on présente au sujet un son de référence et on lui demande d'ajuster un second son « à mi-hauteur », ou « à hauteur double » du son de référence. On peut aussi lui présenter un son de référence ayant une valeur subjective arbitraire de 100 ; on lui demande alors de coter d'autres sons par rapport à cette référence. En répétant une telle procédure un grand nombre de fois avec d'autres fréquences de référence, on peut établir une échelle subjective pour laquelle on a défini une unité : le *mel*. La hauteur d'un son pur de 1000 Hz à 40 dB au-dessus du seuil d'audition est par définition de 1000 mels, et la plus basse fréquence audible (en général 40 Hz) correspond à 0 mel. La figure 1 montre comment la hauteur sonore varie en fonction de la fréquence (pour des sujets n'ayant pas l'oreille musicale). La ligne pointillée montre la variation de l'échelle musicale en fonction de la fréquence également.

Le *seuil différentiel de hauteur sonore* est la plus petite différence de hauteur sonore qu'un sujet peut détecter le 50 % du temps dans une série de présentations de paires de sons très légèrement différents. On présente au sujet une séquence de paires de sons très voisins en fréquence et on lui demande simplement de dire si les deux membres d'une paire sont différents ou identiques. Il vaut la peine de mentionner que ce seuil différentiel est presque constant quelle que soit la fréquence, lorsqu'on l'exprime en mels. Nous verrons en effet à propos de la sonie que des seuils différentiels pour des conditions différentes ne sont pas toujours subjectivement égaux.

L'identification de la hauteur sonore est beaucoup plus compliquée lorsque le son est composé de plusieurs sons purs. Le cas le plus simple est celui d'un son périodique, composé d'une fondamentale et d'harmoniques. En général, la hauteur sonore sera égale à celle de la fondamentale. Il se peut toutefois que dans certains cas particuliers, la hauteur sonore soit influencée par l'amplitude relative des diverses composantes du son considéré. Il faut aussi remarquer que dans certains cas, bien que la fondamentale soit très faible ou absente, la hauteur sonore du son en question est néanmoins perçue à la hauteur de la fonda-

mentale. Ce phénomène est connu sous le nom de « la fondamentale manquante ». Lorsque les composantes d'un son ne sont pas en relation harmonique (cas d'un son de cloche par exemple), le problème devient encore plus compliqué et il n'est pas possible pour l'instant de prédire ce qui se passe dans ce cas-là (voir à ce sujet l'article de Risset). Il est toutefois intéressant de noter que d'après une expérience récente par Houtsma et Goldstein, il est possible pour certains sujets d'identifier la fondamentale d'un son complexe constitué de deux harmoniques contigus (5^e et 6^e par exemple) dont le premier est présenté à une oreille et le second à l'autre. Ces résultats montrent que, dans certains cas tout au moins, la détection de la fondamentale ne se produit pas dans l'oreille interne, mais au niveau du système nerveux central, ou au niveau cortical.

Sonie

La *sonie* est l'aspect de la sensation auditive qui est le plus directement relié à l'intensité ou à l'énergie d'une onde sonore. Elle commence au *seuil d'audition* et s'étend jusqu'à la douleur. Tous les sons douloureux ont une intensité sonore d'environ 140 dB ou davantage, quelle que soit leur fréquence. Il n'en est pas de même à l'autre bout de l'échelle. On appelle *seuil d'audition* l'intensité sonore du son le plus faible perçu le 50 % du temps dans une série de présentations. Ce seuil est en général à son point le plus bas entre 2000 Hz et 4000 Hz et s'élève graduellement vers les deux extrêmes du spectre audible.

Comme pour toute quantité subjective, l'instrument principal pour mesurer la sonie est un observateur humain. En demandant à un assez grand nombre de sujets si un son

donné est plus fort, identique ou plus faible qu'un autre, on a pu établir certaines statistiques relatives entre autres à la sonie, et ainsi établir des valeurs de référence.

On appelle *niveau d'isophonie NIS* (exprimé en *phones*) le niveau de pression sonore (en dB) d'un son de référence (1000 Hz) qui est jugé (par un grand nombre d'observateurs) aussi fort que le son inconnu. Un son qui est donc jugé aussi fort qu'un son pur de 1000 Hz et de 40 dB (*NPS*) a par définition un niveau d'isophonie de 40 phones. Comme l'illustre la figure 2, le niveau d'isophonie est non seulement fonction de la fréquence, mais aussi du niveau de pression sonore.

Bien qu'une échelle logarithmique telle que celle des phones ou des décibels permette d'accommoder une gamme étendue de valeurs, elle ne correspond pas à l'échelle subjective de la sonie. Si l'on combine un son pur de 200 Hz d'un niveau d'isophonie de 70 phones à un autre son pur de 4000 Hz de même niveau, il serait très commode que le niveau total soit de 140 phones. Malheureusement, ce dernier n'est en fait que de 80 phones, le niveau de pression sonore étant lui de l'ordre de 68 dB. Afin que l'échelle de sonie corresponde aussi bien que possible à une échelle subjective, on a défini une nouvelle unité, le *son*. Une sonie d'un *son* correspond à un niveau d'isophonie de 40 phones. La sonie *S*, exprimée en *sones*, est donnée par la relation

$$S = 2^{(NIS-40)/10}$$

où le niveau d'isophonie *NIS* est exprimé en phones. Le tableau suivant donne quelques valeurs typiques de la sonie et du niveau d'isophonie :

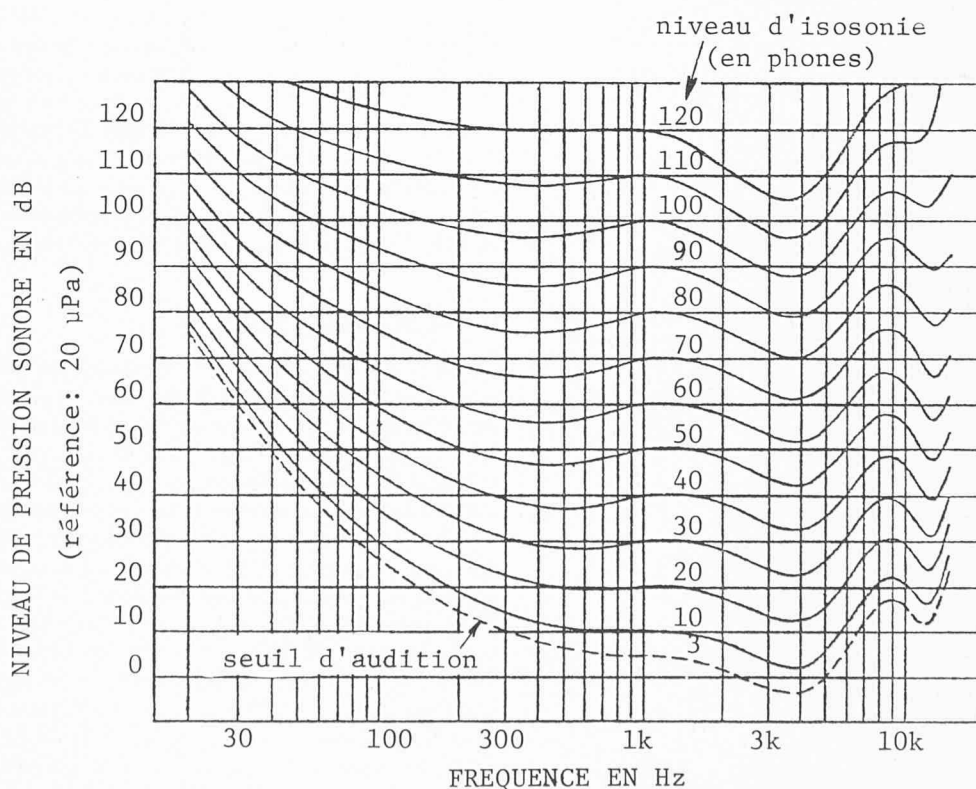


Fig. 2. — Courbes d'isophonie pour un groupe d'adultes mâles. Ces courbes ont été obtenues avec des sons purs, en champ libre frontal.

	Niveau d'isophonie [phones]	Sonie [sones]
Seuil de la sensation douloureuse	140	1024
Avion à réaction commercial	120	256
Camion	100	64
Conférencier	80	16
Conversation tranquille	60	4
Studio de télévision	40	1
Seuil d'audition	3	

Nous avons vu que la sonie est fonction de la fréquence et de l'intensité sonore ; elle est aussi fonction de la largeur de bande du son. Considérons trois sons constitués de bruit blanc filtré à trois largeurs de bande : 100 Hz, 160 Hz, et 330 Hz ; tous trois sont centrés à 1000 Hz et ont la même intensité sonore (donc des densités spectrales décroissantes). Contrairement à ce qu'on pourrait attendre, ces trois sons n'ont pas la même sonie : le troisième apparaît environ une fois et demie aussi fort que le premier ou le deuxième. En fait, si l'on fait varier la largeur de bande du bruit de façon continue, tout en maintenant l'intensité sonore constante, on remarque, comme le montre la figure 3, que la sonie est constante pour une bande passante étroite mais dès que celle-ci dépasse une certaine valeur, la sonie augmente avec la largeur de bande. Ce phénomène est connu sous le nom de *bande critique* et se révèle d'une grande importance dans presque tous les domaines de la psychoacoustique. Bien qu'incomplètement comprise, particulièrement au niveau neurophysiologique, la bande critique correspond, quelle que soit la fréquence, à un segment d'environ 1,3 mm de la membrane basilaire dans

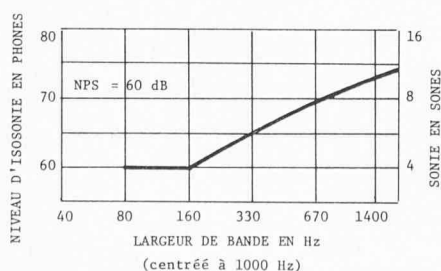
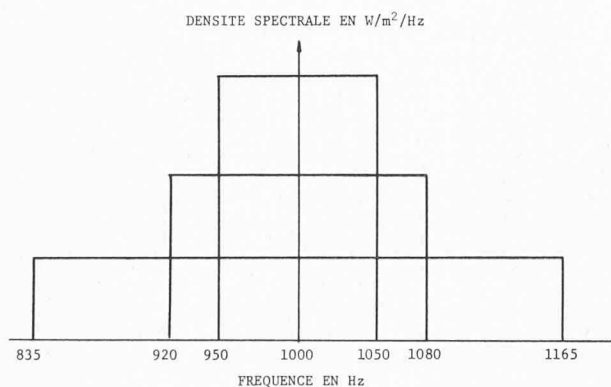


Fig. 3. — L'effet de la largeur de bande sur la sonie est mis en évidence en présentant un son (bruit blanc filtré) à un niveau de pression sonore constant (60 dB) et en augmentant la largeur de bande (centrée à 1000 Hz dans ce cas).

la cochlée. Elle constitue le domaine d'intégration de l'intensité, ou plus exactement de la sonie. De même que l'abscisse (du point de déplacement maximum) le long de la membrane basilaire est approximativement proportionnelle au logarithme de la fréquence d'excitation, la bande critique à une fréquence donnée est approximativement proportionnelle au logarithme de cette fréquence. A 200 Hz, elle est de 100 Hz ; à 5000 Hz, d'environ 1000 Hz. A l'intérieur d'une bande critique, la sonie est essentiellement proportionnelle à la valeur efficace de la pression sonore, alors que la sonie totale des différentes bandes critiques s'obtient par combinaison (et non par simple addition) des sonies individuelles, comme nous allons le voir.

Il est intéressant de noter ici qu'un intervalle subjectif de 100 mels (hauteur sonore) correspond assez précisément à la largeur d'une bande critique à ce point. La coïncidence du nombre 100 est fortuite, vu le choix arbitraire du mel ; cependant, le fait que l'intervalle choisi (100 mels) reste égal à une bande critique, quelle que soit la fréquence, n'est certainement pas dû à la chance : il est probable que c'est le même mécanisme qui explique la notion de bande critique et celle de seuil différentiel de hauteur sonore.

Le seuil différentiel de sonie est par définition le plus petit écart de sonie qui peut être détecté par un sujet le 50 % du temps. Il est très approximativement d'un décibel. En fait, il varie de 4 dB, au seuil d'audition, à moins de 0,5 dB aux intensités élevées ; il est plus élevé aux deux extrémités du spectre audible qu'en son centre.

La loi de Weber, bien connue des psychologues, voudrait que le seuil différentiel de sensation, quelle que soit la modalité, soit un pourcentage constant du stimulus. Cette loi prédirait donc que le seuil différentiel de sonie est un nombre constant de décibels, ce qui n'est pas le cas. La loi de Weber, appliquée à la sonie, est donc au mieux une approximation qui perd presque complètement toute utilité aux fréquences et intensités extrêmes.

La loi de Fechner, une extension de celle de Weber, prédit que la grandeur psychologique (ou sensation) augmente comme le logarithme de l'intensité du stimulus. Ici encore, bien qu'on ait accepté cette « loi » pendant un siècle, il ne s'agit que d'une première approximation qui, de plus, est fondée sur l'hypothèse que tous les seuils différentiels sont égaux en grandeur subjective. Comme nous l'avons vu, cette hypothèse est valable pour la hauteur sonore, mais clairement fautive pour la sonie.

Sonie des impulsions

Jusqu'ici, nous avons parlé uniquement de sons continus, que ce soient des sons purs ou du bruit. Cependant l'oreille est soumise à tout moment à nombre de sons qui sont des impulsions : frappe d'une machine à écrire, porte qui claque, bruit d'une mitrailleuse, etc. L'expérience a montré que des impulsions de bruit ou de son périodique de 100 ms ou davantage ont une sonie qui est indépendante de la durée de l'impulsion. Ce n'est que lorsque celle-ci diminue à moins de 100 ms qu'il faut augmenter le niveau de pression sonore si l'on veut conserver la même sonie. La constante de temps de l'appareil auditif humain est donc de l'ordre de 100 ms. Cela signifie que la mesure de bruits impulsifs devrait de faire avec des instruments ayant une constante de temps semblable. Les relations décrivant la sonie en termes de bandes critiques sont également valables pour les bruits impulsifs. En particulier, la figure 3 est valable aussi bien pour un son continu que pour des sons impulsifs.

Phénomènes de masque

Si l'oreille est exposée simultanément à deux sons distincts, il est bien connu que si l'un des deux sons (le *son masqué*) est notablement plus faible que l'autre (le *son de masquage*) il semble « noyé » et dans certains cas, on ne peut pas le percevoir. On dit alors qu'il y a *effet de masque*. Il s'agit effectivement d'une élévation du seuil d'audition, d'autant plus marquée que le son masqué est proche (en fréquence) du son de masquage, particulièrement lorsqu'il est au-dessus de celui-ci. La figure 4 montre l'effet de masque causé par une bande très étroite de bruit centrée à 1200 Hz et ayant une sonie de 100 phones. D'après cette figure, on peut voir que si deux sons sont proches l'un de l'autre, l'effet de masque diminue substantiellement la sonie totale, alors que s'ils sont éloignés l'un de l'autre de plusieurs bandes critiques, l'effet de masque est négligeable et la sonie de l'ensemble est pratiquement égale à la somme des deux sonies.

Mesure de la sonie

Au vu de ce qui précède, il est clair que la mesure de l'intensité sonore ne saurait remplacer la mesure de la sonie. Cependant, c'est avec un *sonomètre* qu'on a d'abord essayé d'atteindre ce but. Cet instrument transforme, par l'intermédiaire d'un microphone de haute qualité, les variations de pression sonore en variations de tension électrique dont la valeur efficace est affichée en décibels par un voltmètre à échelle logarithmique. Afin de correspondre plus exactement à la réponse en fréquence de l'oreille humaine, le sonomètre est doté de trois ou quatre filtres commutables A, B, C et D qui donnent alors des valeurs pondérées du niveau de pression sonore. La réponse fréquentielle est spécifiée par des accords internationaux et le niveau de pression sonore, dans ces cas-là, est donné en dB(A), dB(B), dB(C) ou dB(D). Chacun de ces filtres a une application différente. Le filtre D par exemple est utilisé surtout pour mesurer le bruit des réacteurs d'avions.

Le sonomètre a l'avantage de la simplicité, mais les ennuis commencent dès qu'on a affaire à plus d'un son pur à la fois. En effet, pour le sonomètre, il n'y a pas d'effet de masque. Par conséquent, deux sons purs combinés auront un niveau de pression sonore total identique, quel que soit leur éloignement mutuel, alors que comme nous l'avons montré précédemment, cet éloignement a une grande importance sur la sonie globale des deux sons. En essayant donc de substituer à une mesure de sonie une mesure de niveau de pression sonore, il est très facile de commettre une erreur de plus de 10 phones.

Calcul de la sonie

Toutes les méthodes d'estimation de la sonie reposent sur le même principe fondamental : l'addition de sonies partielles. Les deux méthodes les plus connues sont celle de Stevens (dénommée Mark VI et récemment améliorée sous le nom de Mark VII) et celle de Zwicker. Chacune a ses avantages et ses inconvénients. Celle de Stevens est relativement plus simple à utiliser mais ne peut s'appliquer que lorsque l'enveloppe spectrale est relativement plate et seulement pour des champs acoustiques diffus. De plus, le son analysé ne doit contenir aucun son périodique. La méthode de Zwicker par contre, d'emploi plus compliqué, peut être utilisée même si l'enveloppe spectrale est fortement irrégulière et si le son a un contenu harmonique

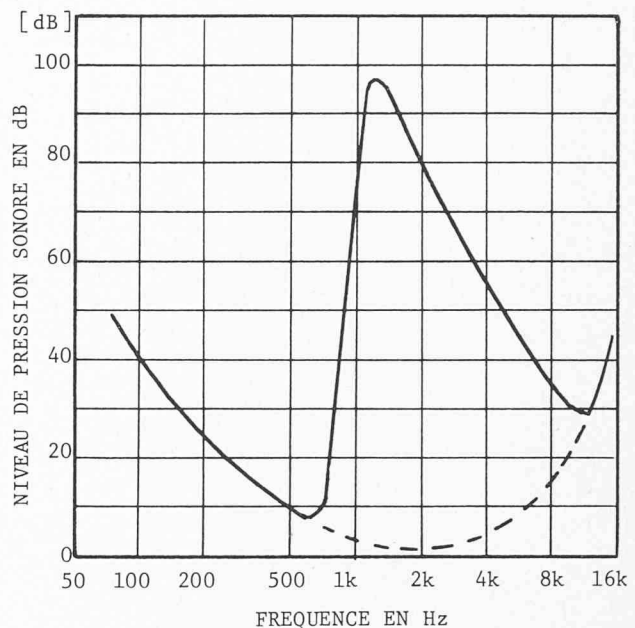


Fig. 4. — Effet de masque d'une bande de bruit très étroite centrée à 1000 Hz et ayant une sonie de 100 phones.

prononcé. De plus elle s'applique aussi bien à des champs acoustiques libres que diffus.

Dans la méthode de Stevens, le niveau de pression sonore est d'abord mesuré dans chaque octave (Mark VI) ou dans chaque tiers d'octave (Mark VII), puis converti en un *indice de sonie* s , d'après des courbes établies empiriquement par Stevens. Ces différents indices de sonie sont ensuite combinés par la formule :

$$S = s_{\max} + F \left(\sum_i s_i - s_{\max} \right)$$

où s_i est l'indice de sonie dans le $i^{\text{ème}}$ octave (ou tiers d'octave), s_{\max} est l'indice de sonie (s_i) ayant la valeur maximum dans le spectre considéré, et F est un facteur qui dépend du nombre de sonies dans l'octave (ou tiers d'octave) ayant la sonie maximum. S est la sonie totale en sonies. Le niveau d'isophonie s'obtient simplement par la relation :

$$NIS \text{ [phones]} = 40 + 10 \log_2 S \text{ [sonies]}$$

La méthode de Zwicker repose en principe sur la combinaison des sonies obtenues pour chaque bande critique. En fait, vu qu'au-dessus de 300 Hz, la largeur de chaque bande critique est assez proche d'un tiers d'octave, on mesure le niveau de pression sonore dans chaque bande au moyen d'une série de filtres ayant cette largeur de bande. On reporte ensuite chaque valeur mesurée (un par tiers d'octave) sur un papier spécial comme celui de la figure 5 ; il en existe deux types distincts, l'un pour les champs libres, l'autre pour les champs diffus. On connecte ensuite les points reportés de la façon suivante : on commence à la fréquence la plus basse et si le niveau de la bande suivante est supérieur, on relie ces deux niveaux par une ligne verticale ; si au contraire la bande suivante a un niveau inférieur, on relie les deux niveaux en suivant une des lignes pointillées ou en interpolant entre deux de celles-ci, selon les cas. Lorsque le profil complet est obtenu, on le convertit en un rectangle de même surface dont la hauteur indique

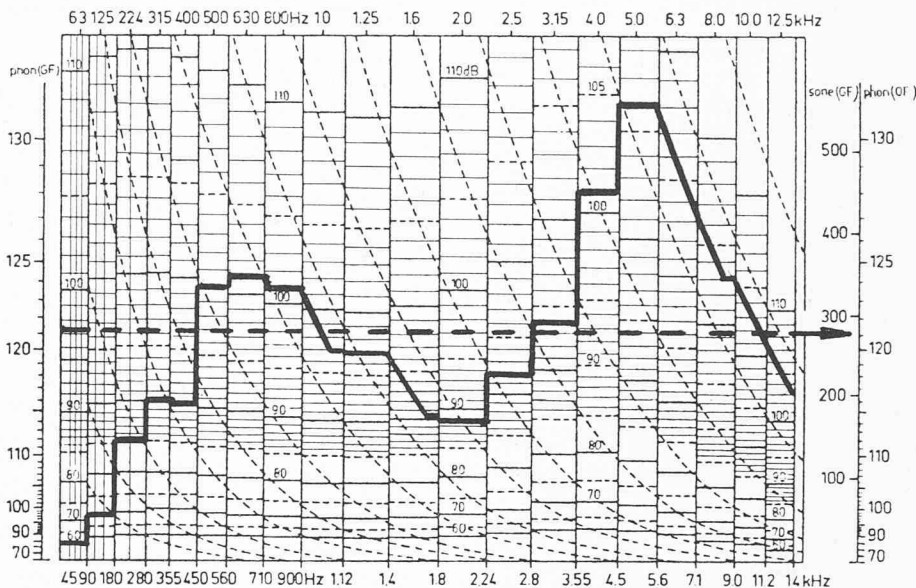


Fig. 5. — Exemple du calcul de la sonie par la méthode de Zwicker pour un bruit à bande large, dans le cas d'un champ libre de 80 à 110 dB.

(au moyen de l'abaque situé sur la droite de la figure 5) la sonie et le niveau d'isophonie cherchés. Une étude comparative par Reichardt et al. a montré que la méthode de Zwicker donne des valeurs systématiquement plus élevées que celles obtenues par la méthode de Stevens. Celle-ci montre d'ailleurs une corrélation légèrement meilleure avec les résultats obtenus directement par une méthode psychophysique où le sujet compare le niveau perçu d'un son donné avec le niveau perçu d'un son pur de 1000 Hz. Cependant, la méthode de Zwicker est applicable dans presque tous les cas. Mentionnons aussi qu'il existe aujourd'hui dans le commerce un analyseur de sonie utilisant la méthode de Zwicker.

Nuisance

Plusieurs études ont essayé de montrer qu'à égalité de sonie, certains sons ou bruits sont plus gênants que d'autres. Elles ont donc essayé d'établir une échelle de *nuisance* qui, on s'y attendrait, devrait être différente de l'échelle de sonie. Certaines de ces études ont en effet révélé une différence entre ces deux paramètres (cf. Kryter et al.). D'autres expériences par contre n'ont pas révélé de différence significative. En d'autres termes, dans ces cas-là, les contours d'isophonie et ceux d'isonuisance étaient pratiquement identiques.

Le point crucial de ces expériences est, comme dans toute expérience de psychophysique, les instructions données au sujet expérimental. En général, on essaie de donner à ce dernier des instructions aussi peu spécifiques que possible ; il est cependant très facile pour l'expérimentateur, consciemment ou non, de biaiser les résultats dans le sens de ce qu'il cherche à démontrer, simplement en donnant des instructions trop précises.

Conclusion

En résumé, les pages qui précèdent présentent un aperçu de quelques notions essentielles à la compréhension d'un de nos organes sensoriels les plus importants : l'appareil

auditif. Les domaines de recherche non encore élucidés, si même ils ont été touchés, sont encore nombreux. Notre savoir se limite principalement aux effets primaires de stimuli relativement simples (sons purs et bruit blanc). Ce n'est que par les efforts conjoints des acousticiens, des neurophysiologistes, des otologues et autres spécialistes que nous arriverons à comprendre, globalement et en détail, le fonctionnement de l'ouïe.

Adresse de l'auteur :

André-Pierre Benguerel, Faculty of Medicine
Division of Audiology and Speech Sciences
University of British Columbia, Vancouver 8, B.C., Canada

BIBLIOGRAPHIE

- BERANEK, L. L. (1954) : *Acoustics*, McGraw-Hill, New York.
- GREENWOOD, D. D. (1961) : Auditory Masking and the Critical Band, *J. Acoust. Soc. Amer.*, Volume 33, 484-502.
- HOUTSMA, A. J. M., et GOLDSTEIN, J. L. (1972) : The Central Origin of the Pitch of Complex Tones : Evidence from Musical Interval Recognition, *J. Acoust. Soc. Amer.*, Volume 51, 520-529.
- KRYTER, K. D. (1970) : *The Effects of Noise on Man*, Academic Press, New York.
- KRYTER, K. D., et PEARSONS, K. S. (1963) : Some Effects of Spectral Content and Duration on Perceived Noise Level, *J. Acoust. Soc. Amer.*, Volume 35, 866-883.
- LICKLIDER, J. C. R. (1951) : Basic Correlates of the Auditory Stimulus, *Handbook of Experimental Psychology*, édité par S. S. Stevens, Wiley, New York, 985-1039.
- REICHARDT, W., NOTBOHM, K., et JURSCH, H. (1969) : Verbesserung des Lautstärkeberechnungsverfahrens nach Niese, *Acustica*, Volume 21, 134-143.
- RISSET, J. C. (1971) : Paradoxes de hauteur : le concept de hauteur sonore n'est pas le même pour tout le monde, *Proc. 7th Int. Cong. Acoust.*, Budapest, Volume 3, 613-616.
- STEVENS, S. S. (1961) : Procedure for Calculating Loudness : Mark VI, *J. Acoust. Soc. Amer.*, Volume 33, 1577-1585.
- STEVENS, S. S. (1972) : Perceived Level of Noise by Mark VII and Decibels (E), *J. Acoust. Soc. Amer.*, Volume 51, 575-601.
- ZWICKER, E. (1958) : Über psychologische und methodische Grundlagen der Lautheit, *Acustica*, Volume 8, 237-258.