

SCIENCE
VIE
et

NUMÉRO HORS SÉRIE
TRIMESTRIEL

HI-FI 76

ACOUSTIQUE



LE PROCHAIN



HORS-SÉRIE

ASTRONOMIE

76

**Avec le concours des astronomes
de l'Observatoire de Paris**

AU SOMMAIRE

- Du télescope à l'interféromètre
- Notre étoile, le Soleil
- Que savons-nous de la Lune ?
- La découverte des planètes
- Les étoiles et la galaxie
- Les nouveaux objets astronomiques
- Quelle image de l'Univers ?
- La vie, ailleurs ?
- L'astronomie d'amateur

**EN VENTE
MARS
76**



HORS-SÉRIE

Publié par
EXCELSIOR PUBLICATIONS, S.A.
5, rue de la Baume - 75008 Paris
Tél. 266.36.20

Direction, Administration, Rédaction

Président : Jacques Dupuy
Directeur général : Paul Dupuy
Rédacteur en Chef : Serge Caudron
Directeur administratif et financier : J.-P. Beauvalet
Promotion : Paul Cazenave, assisté d'Elisabeth Drouet
Diffusion ventes : Henri Colney
Mise en page : Louis Boussange ; Alain Tercinet
Service photo : Daniel Maisto, Miltos Toscas,
J.-P. Bonnin

Correspondants

New York : Arsène Okun, 64-33-99th Street
Rego Park - N. Y. - 11374
Londres : Louis Bloncourt - 38, Arlington Road
Regent's Park - London W 1

Publicité :

Excelsior Publicité - Interdeco
167, rue de Courcelles
Chef de publicité : Hervé Lacan
Compte Chèque Postal : 91.07 PARIS
Adresse télégraphique : SIENVIE PARIS

A NOS ABONNÉS

● Pour toute correspondance relative à votre abonnement, envoyez-nous l'étiquette collée sur votre dernier envoi.

Elle porte tous les renseignements
nécessaires pour vous répondre

● Changements d'adresse : veuillez joindre à votre correspondance, 1,50 F en timbres-poste français ou règlement à votre convenance.

A NOS LECTEURS

● Nos reliures : Destinées chacune à classer et à conserver 6 numéros de SCIENCE ET VIE peuvent être commandées par 2 exemplaires au prix global de 20 F franco (Pour les tarifs d'envois à l'étranger, veuillez nous consulter).

● Notre service Livre : Met à votre disposition les meilleurs ouvrages scientifiques parus. Vous trouverez tous renseignements nécessaires à la rubrique « La Librairie de SCIENCE ET VIE ».

● Les numéros déjà parus : La liste des numéros disponibles vous sera envoyée sur simple demande.

CORRESPONDANCE ET REGLEMENT

● Adresse : 5, rue de la Baume - Paris (8°).

● Modalités de paiement :

— Règlement joint à la commande, C. Bancaire - C.C.P. - Mandat Lettre - libellés à l'ordre de Science et Vie.

— Pour les C.C.P. transmettre directement les 3 volets sans indiquer de numéro de compte.

● Factures : Emises sur demande pour un montant supérieur à 30 F uniquement.

Pour vous abonner

Nos tarifs

	France et ZF	Etranger
1 AN : 12 N°s	64 F	80 F
1 AN : 12 N°s + 4 H.S.	89 F	110 F
2 ANS : 24 N°s	120 F	152 F
2 ANS : 24 N°s + 8 H.S.	170 F	210 F

Nos correspondants étrangers

BENELUX : PIM Services, 10, bd Sauvenière, 4000 LIEGE (Belgique), C.C.P. 000-0028376-52 LIEGE

1 AN : 500 FB.

1 AN + 4 H.-Série : 700 FB.

CANADA et U.S.A. : PERIODICA inc.
C.P. 220, Ville Mont-Royal, P.Q. H3P 3C4.

CANADA : PERIODICA 7054 Av. du Parc, MONTREAL 303 - QUEBEC

1 AN : \$ 18

1 AN + 4 H.-Série : \$ 24.

SUISSE : NAVILLE et Cie - 5-7, rue Levrier 1211 GENEVE 1 (Suisse)

1 AN : 45 FS

1 AN + 4 H.-Série : 60 FS

● **RECOMMANDES ET PAR AVION :** Nous consulter

Règlements

A l'ordre de SCIENCE et VIE.

Etranger : mandat international ou chèque bancaire payable à Paris.

Bulletin d'abonnement

Je désire m'abonner à **SCIENCE ET VIE** pour :

1 AN ☐ 1 AN + HORS-SÉRIE ☐

2 ANS ☐ 2 ANS + HORS-SÉRIE ☐

A COMPTER DU NUMERO DE

NOM | | | | | | | | | | | | | | | |

PRÉNOM | | | | | | | | | | | | | | | |

ADRESSE | | | | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | |

CODE | | | | | **VILLE** | | | | | | | | | |

J'adresse le présent bulletin à SCIENCE et VIE, 5 rue de la Baume. 75008 PARIS.

Je joins mon règlement de F
par Chèque bancaire ☐ Mandat lettre ☐ par C.C.P.
3 volets (sans n° de compte) ☐.

A l'ordre de SCIENCE ET VIE.

☐ Je préfère que vous m'envoyiez une facture.

Signature



Notre couverture :
photo
Jean-Pierre Leloir ;
détails
Jean-Pierre Bonnin.
Au dos :
Miles Davis, par
Jean-Pierre Leloir.

Nous remercions les
Ets Pathé-Marconi, Radio-France,
les magasins spécialisés
Hi-Fi 2000, 78 avenue des Ternes
et Musique et Technique,
79 rue du Rocher,
des facilités
qu'ils nous ont offertes
pour l'illustration
de ce numéro.

Parmi les collaborateurs de ce numéro
Hi-Fi-acoustique 76 :

M. Léon Geuens est premier musicien-
modulateur à la radio-télévision bel-
ge

M. Pierre Gilotiaux est ancien directeur
des études et des studios d'une im-
portante firme de disques

M. André Gribenski est professeur à
l'Université de Rouen

M. Jean-Paul Legoux est Maître de re-
cherche au C.N.R.S.

Directeur de recherches au C.N.R.S.,
M. Emile Leipp est à la tête du labo-
ratoire d'acoustique de l'Université
Paris VI

Le docteur Loth appartient au Service
central de biophysique (Professeur
Burgeat) de l'Université Paris VII

M. Jean-Jacques Matras est professeur
à l'Ecole nationale supérieure des té-
lécommunications.

Les sons musicaux

p. 4

La matière première : de simples variations
de la pression de l'air de part et d'autre de
la pression atmosphérique

par André Gribenski

L'oreille et l'analyse des sons

p. 18

Les mécanismes physiologiques de l'audition
sont-ils bien ou mal connus ? Tout dépend
du niveau, périphérique ou central, auquel
on se place

par Jean-Paul Legoux

Audiométrie 76

p. 30

A l'aide d'électrodes, on peut aujourd'hui
étudier, de façon précise et objective, les
troubles de l'appareil auditif

par Drystan Loth

Le bruit et l'isolation phonique

p. 36

Il est grand temps que l'on se préoccupe
du confort acoustique dans les appartements
modernes. Il existe heureusement des
indices encourageants

par Jean-Jacques Matras

Les nouvelles machines à musique

p. 53

L'ordinateur n'aura probablement jamais la
sensibilité créatrice de Mozart ou de
Tchaïkovsky. Mais son apport à la musicologie
comme à l'élaboration de nouvelles formes
musicales peut être considérable

par Luc Fellot

Haute-fidélité... mais à quoi ?

p. 57

Le terme de haute-fidélité a-t-il un sens ?
Nos références musicales sont surtout
internes et subjectives

par Emile Leipp

La prise de sons musicale

p. 64

Pour le disque comme pour la radio,
l'ingénieur du son est un personnage-clef,
dont le rôle n'apparaît pas toujours au grand
public

par Léon Geuens

Vers un label Hi-Fi ? p. 82

Celui qui aime la musique n'est pas forcément un technicien de l'électroacoustique. Il conviendrait donc de lui fournir une base d'appréciation plus commode qu'un fatras de résultats chiffrés

par Yves Marzio

Le disque et son industrie p. 86

Existe-t-il de bons disques ? de mauvais disques ? Sans doute. Encore faut-il savoir pourquoi

par Pierre Gilotiaux

Les platines et leurs mécanismes p. 100

Faire tourner un disque sur son plateau et décrypter la modulation qu'il porte. Tel est le problème. Mais les solutions sont souvent fort complexes

par Yves Marzio

Les magnétophones à bobines libres p. 108

Certaines chaînes d'apparition récentes sont construites, non autour d'un ampli, mais d'un magnétophone. Que faut-il en penser ?

par Charles Olivérès

La tétraphonie n'est pas un gadget p. 114

Disposer de quatre canaux et non de deux apporte vraiment quelque chose. Mais il est indispensable de voir clair entre les divers systèmes de codage actuellement proposés

par Gérard Rainguez

Vers les cimes ? Les magnétocassettes p. 122

Simple et commode à l'origine, les magnétocassettes évoluent vers une sophistication qui les desservira peut-être

par Etienne Lemery

Les tuners et la M.F. p. 130

De 800 à 20 000 F et plus, la gamme des tuners actuellement sur le marché s'est considérablement élargie

par Etienne Lemery

Berlin 75 p. 136

Un salon où la Hi-Fi tient une place de choix

Des enceintes aux enceintes asservies p. 138

L'offensive est engagée pour réduire ce goulot d'étranglement des meilleures chaînes Hi-Fi

par Alexandre Oravec

Hi-Fi et après-vente p. 147

S'il n'y prend garde, l'acquéreur d'une chaîne Hi-Fi est à la merci de bien des mécomptes

par Yves Marzio

En marge de la Hi-Fi : les radiorécepteurs longue-distance p. 152

Même sans modulation de fréquence, il n'est pas négligeable de recevoir le Boston Philharmonic Orchestra...

par Roger Bellone



Giraudon.

LES SONS MUSICAUX

De tous temps, les musiciens se sont voulus gens rigoureux. Pourtant, les sons musicaux les plus importants pour notre oreille — ou plutôt notre cerveau — ne sont pas toujours ceux dont les caractéristiques physiques sont les mieux précisées. Encore laissons-nous de côté les recherches de musique contemporaine, dans lesquelles s'estompe la distinction classique entre « bruit » et « son musical », et où l'on fait flèche de tout... son.

● Un son est une sensation, c'est-à-dire un phénomène subjectif ; mais la cause de cette sensation est toujours une vibration se propageant dans un milieu élastique (généralement l'air) et atteignant le tympan. Aussi appelle-t-on également sons les vibrations qui donnent naissance aux sensations sonores. Nous n'entendons — en d'autres termes, nous ne percevons comme sons — que les vibrations dont les fréquences sont comprises entre 16 et 20 000 par seconde ; toutefois, il n'y a pas de différence de nature entre ces vibrations, dites audibles, et celles, appelées *infrasons* et *ultrasons*, dont les fréquences sont inférieures et supérieures aux fréquences audibles. Il arrive que nous percevions des infrasons ; mais nous les reconnaissons alors comme des vibrations (ainsi, lorsque nous sentons vibrer la coque d'un bateau), c'est-à-dire que nous les percevons par d'autres sens que l'ouïe, le sens tactile par exemple. Par contre, nous ne percevons pas les ultrasons, mais nous savons qu'ils sont audibles pour certains animaux (jusqu'à la fréquence 40 000 chez le chat, 80 000 chez le chien, 150 000 chez les chauves-souris).

Les vibrations sonores sont des variations de pression de part et d'autre de la pression atmosphérique ; elles sont faibles, et trop rapides pour pouvoir être étudiées directement ; cependant, transformées en oscillations électriques grâce à un microphone, elles peuvent être dessinées sur un écran ou une plaque photographique par un *oscilloscope* ; les courbes ainsi obtenues, les *oscillogrammes* ou « courbes sonores », permettent de connaître exactement la fréquence, l'amplitude, la forme des vibrations.

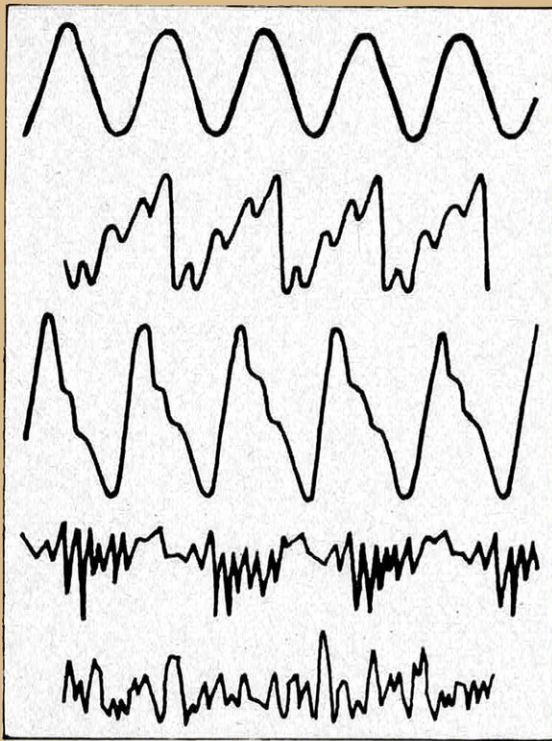
Musique et bruit

Un son (sensation) se caractérise par sa *hauteur* (son grave ou aigu), sa *sonie* (son fort ou faible) et son *timbre* (particularité qualitative qui nous permet d'identifier les sources sonores). On reconnaît parfois aux sons d'autres caractères, tels que le *volume* ou la *clarté*, mais leur indépendance à l'égard des trois caractères principaux n'est pas bien établie ; ainsi, le « volume » d'un son augmente lorsque ce



131 Victor Pisano del Pisanello. Dessin de l'album Valardi. Musée du Louvre. A. G. F.

Pisanello ; dessin de l'album Valardi.



De haut en bas : oscillogrammes d'une note de diapason, d'une note de piano, d'une note de flûte, d'une note de hautbois et d'un bruit de rue. Les quatre premières courbes sont périodiques. La dernière ne l'est pas.

son devient plus grave ou plus fort. Naguère, il était classique de distinguer les *bruits* et les *sons musicaux*. La hauteur d'un son musical est bien déterminée et s'exprime par le nom d'une note de la gamme ; un bruit peut être aigu ou grave, mais n'a pas de hauteur exactement définie. Une différence physique correspond à cette distinction subjective : un son musical, en effet, est toujours produit par une vibration périodique de fréquence déterminée ; un bruit, au contraire, est dû à une vibration non périodique.

La distinction entre ces deux catégories de sons est assurément valable, tant sur le plan subjectif (sensation) que sur le plan objectif (vibration), mais il n'est plus permis de limiter aux vibrations périodiques et aux sons de hauteur définie l'appellation de « son musical » ; la musique fait en effet appel aux vibrations non périodiques, et l'on doit considérer aujourd'hui que tout phénomène sonore a, ou peut avoir, une valeur musicale.

Il y a d'ailleurs une autre raison pour ne pas opposer « bruit » et « musique » ; c'est que le mot *bruit* est également

employé pour désigner un son gênant, appréciation qui diffère selon les individus et, pour chaque personne, selon ses occupations du moment. En ce sens, la musique même peut être un *bruit*.

Tandis que les instruments de musique produisent des *sons complexes* (c'est-à-dire des vibrations non-sinusoïdales), il est possible de produire, au moyen d'oscillateurs électroniques, des *sons purs*, c'est-à-dire des vibrations sinusoïdales, donc indécomposables. L'étude de la perception des sons utilise en grande partie des sons purs, afin de réaliser des conditions expérimentales rigoureusement définies ; mais on vérifie que les résultats ainsi obtenus peuvent s'étendre à tous les sons.

Hauteur des sons

La hauteur d'un son dépend principalement de sa *fréquence*, et elle est d'autant plus élevée que la fréquence est plus grande ; la valeur de la fréquence (nombre de vibrations par seconde) s'exprime en *hertz* ou *cycles par seconde*. L'habitude de considérer les sons aigus comme hauts et les sons graves comme bas vient sans doute de ce que, émis d'un même endroit, les sons aigus paraissent venir d'une source plus élevée au-dessus du sol que les sons graves (différence que nous ne savons d'ailleurs pas expliquer).

Il est intéressant de comparer l'étendue du champ des fréquences audibles (de 16 à 20 000, soit environ dix octaves) au champ de fréquence utilisé par la musique : le piano va de la fréquence 27 à 4170 ; le piccolo monte jusqu'à 4 752 hertz ; l'orgue utilise presque toutes les fréquences audibles puisqu'il va de 16 hertz jusqu'à 16 700 hertz ; la voix humaine, enfin, s'étend, pour l'ensemble des différentes tessitures, de la fréquence 80 à la fréquence 1 200 (environ 4 octaves).

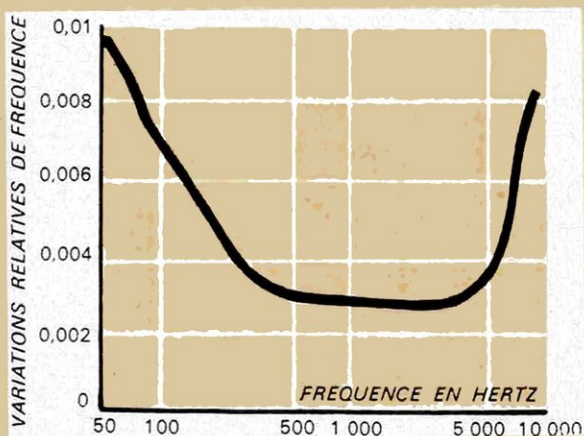
La limite supérieure des fréquences audibles s'abaisse au cours de la vie ; chez une personne âgée, elle peut descendre jusqu'à 13 000, soit une diminution d'une quinte.

Si l'on fait varier la fréquence d'un son, la hauteur perçue ne se modifie que lorsque le changement de fréquence

atteint une certaine valeur minimale. La valeur du plus petit intervalle perceptible exprime la sensibilité de l'oreille aux différences de hauteur, ou acuité auditive ; elle est à peu près constante pour les sons moyennement forts, entre 500 et 4 000 hertz ; la variation de fréquence est alors de 3/1000, et l'on peut apprécier la finesse de l'acuité auditive en remarquant que cet intervalle est voisin de 1/20 de demi-ton et de 1/4 de comma (1) ; les notes *ut* $\sharp$ et *ré* $\flat$, qui diffèrent à peu près d'un comma, confondues par *construction* dans le piano, sont en effet distinctes pour le violon ou la flûte. Notons que la sensibilité de l'oreille aux différences de hauteur est moins bonne dans les graves et les aigus ; ainsi, la plus petite variation de fréquence perceptible est de 10 % à la fréquence 50 ou à la fréquence 8 000. Elle est également beaucoup moins bonne pour les sons de faible intensité. Nous pouvons aussi percevoir des *sons subjectifs*, c'est-à-dire n'ayant pas d'existence en dehors de nous. Le plus souvent, leur hauteur est déterminée par la différence entre les fréquences des sons qui parviennent réellement à l'oreille. Ainsi, dans l'orgue, le tuyau coûteux et encombrant qui donne le son le plus grave (16 hertz) est fréquemment supprimé ; nous entendons cependant ce son, car il est produit dans l'oreille par la différence entre les sons de 32 et 48 hertz.

On a l'habitude d'exprimer la hauteur des sons dans l'échelle musicale, et

(1) Voir plus loin pour la définition de ces termes et d'autres semblables exprimant des intervalles de hauteur.



Pour percevoir un changement de hauteur, il faut une variation relative de fréquence plus grande dans le grave et l'aigu.

on appelle *intervalle* la différence de hauteur de deux notes. Il y a diverses échelles musicales de par le monde ; nous allons examiner ici celle sur laquelle repose la musique européenne.

De Pythagore au dodécaphonisme

L'origine de notre gamme de sept notes n'est pas connue, mais elle remonte à l'Antiquité. Les Grecs savaient que la hauteur du son produit par une corde vibrante dépend de sa longueur ; ils avaient reconnu qu'en diminuant de moitié la longueur de la corde, la hauteur montait toujours d'une même intervalle parfaitement consonant (appelé depuis *octave*) ; de même, en diminuant la longueur d'un tiers seulement, le son montait d'un intervalle plus petit, le plus consonant après l'octave (*quinte*). Ces deux intervalles séparent donc les sons produits par deux cordes dont les longueurs sont respectivement dans les rapports de 1 à 2 et de 2 à 3 ; la relation entre consonance et rapports simples jouait d'ailleurs un grand rôle dans la doctrine pythagoricienne. La tradition attribue à Pythagore (VI^e siècle avant J.-C.) la fixation des rapports de longueur des cordes définissant les diverses notes de la gamme ; ces rapports sont établis par la seule considération des intervalles d'octave et de quinte, et sont naturellement les inverses des rapports de fréquence. Les intervalles musicaux (seconde, tierce, quarte, quinte, sixte, septième, octave) ont reçu leurs noms par référence à cette série de sept notes, complétée par une huitième qui répète la première et qui est le point de départ d'une gamme identique.

Le tableau ci-dessous donne les fréquences des notes successives de la gamme de Pythagore, en les rapportant à celle de la première note.

ut	ré	mi	fa	sol	la	si	ut
1	$\frac{9}{8}$	$\frac{81}{64}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{27}{16}$	$\frac{243}{128}$	2

La gamme de Pythagore.

La gamme de Zarlin.

ut	ré	mi	fa	sol	la	si	ut
1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2
	$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{16}{15}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{16}{15}$

Dès l'Antiquité, la gamme fut l'objet de recherches et de modifications, qui répondaient à des préoccupations tant mathématiques que musicales. A partir du XVI^e siècle, prévalut la gamme de Zarlin (Zarlino, prêtre et musicien italien, 1517-1590) dans laquelle les fréquences rapportées à celle de la tonique (première note de la gamme) sont exprimées par des fractions plus simples ; la gamme de Zarlin est aussi appelée *gamme naturelle*, parce que ses degrés reproduisent (exactement pour la plupart, presque exactement pour les autres) les harmoniques de la tonique transposés à une ou quelques octaves dans le grave.

Le tableau en haut de page indique, pour chaque note de la gamme de Zarlin, sa fréquence par rapport à celle de la tonique et, à la ligne suivante, par rapport à la note qui la précède. Comme on le voit, la gamme de Zarlin comprend trois intervalles différents : d'abord le *ton majeur* (rapport de fréquences : $9/8$) et le *ton mineur* ($10/9$), dont la différence est mesurée par le rapport $9/8 : 10/9 = 81/80$, intervalle petit mais perceptible, appelé *comma* ; ensuite le *demi-ton* ($16/15$), nettement plus petit que le ton majeur et le ton mineur, mais cependant légèrement supérieur à la moitié de l'un comme de l'autre.

Pour pouvoir transposer, c'est-à-dire reproduire la gamme à partir d'une note quelconque en retrouvant la même succession d'intervalles, on a dû intercaler des notes supplémentaires en

élevant ou en abaissant les notes principales de la gamme naturelle ; par exemple, entre *fa* et *sol* on a introduit *fa#* (*fa dièse*) tel que *mi - fa#* constitue un ton majeur et *fa# - sol* un demi-ton ; entre *la* et *si* $\flat$ (*si bémol*), tel que *la - si* $\flat$ soit un demi-ton et *si* $\flat$ *ut* un ton majeur. Ainsi, il y avait *ut* $\sharp$ et *ré* $\flat$ entre *ut* et *ré* ; *ré* $\sharp$ et *mi* $\flat$ entre *ré* et *mi*, etc. mais, l'intervalle *ut* $\sharp$ *ré* $\flat$ étant très faible (à peu près un comma), l'oreille supporte qu'on le néglige et que l'on confonde les deux notes en une seule placée à égal intervalle d'*ut* et de *ré* ; l'oreille permet aussi que l'on néglige la faible différence entre les trois intervalles *ut - ut* $\sharp$ ($\sqrt[12]{9/8}$ = moitié d'un ton majeur), *ré - ré* $\sharp$ ($\sqrt[12]{10/9}$ = moitié d'un ton mineur), et *mi - fa* ($16/15$ = demi-ton).

On a ainsi été conduit à diviser l'octave en 12 intervalles égaux ou *demi-tons tempérés* ; le demi-ton tempéré correspond au rapport de fréquence $\sqrt[12]{2}$, de sorte que la hauteur d'une note monte d'un demi-ton chaque fois que la fréquence est multipliée par $\sqrt[12]{2} = 1,060$, autrement dit chaque fois que la fréquence augmente de 6 %.

La gamme ainsi constituée, appelée *gamme tempérée*, est donc une succession de 12 notes séparées par des demi-tons égaux, une treizième note répétant la première à l'octave (tableau ci-dessous) ; elle est utilisée depuis le XVIII^e siècle pour l'accord des instruments à sons fixes (clavecin, orgue, piano). Son emploi a beaucoup facilité la transposition dans tous les tons et le développement de l'harmonie ; elle a permis l'éclosion de très grandes œuvres, à commencer par le *Clavecin bien tempéré* de J.-S. Bach ; enfin, elle a conduit à la musique atonale et au dodécaphonisme du XX^e siècle.

Les octaves successives sont numérotées de 1, la plus grave, à 9, la plus aiguë, et chaque note porte en indice le numéro de l'octave à laquelle elle

La gamme tempérée (à douze demi-tons égaux)

ut	ut $\sharp$ ré $\flat$	ré	ré $\sharp$ mi $\flat$	mi	fa	fa $\sharp$ sol $\flat$	sol	sol $\sharp$ la $\flat$	la	la $\sharp$ si $\flat$	si	ut si $\sharp$
----	---------------------------	----	---------------------------	----	----	----------------------------	-----	----------------------------	----	---------------------------	----	-------------------

appartient. Bien entendu, l'échelle musicale n'est complètement définie que si l'on fixe la valeur d'un de ses degrés ; le degré choisi est le a_3 , dont la fréquence est le plus souvent de 440 hertz.

Audition absolue et audition relative

Avoir l'audition absolue ou l'oreille absolue, c'est être capable de nommer immédiatement une note que l'on entend, sans avoir la possibilité de la comparer à une autre et sans chercher à la reproduire intérieurement. Avoir l'audition relative, c'est être capable de reconnaître immédiatement l'intervalle de deux notes entendues successivement, sans reproduire intérieurement ces notes (ceci pour exclure les autres sensations qui pourraient aider l'ouïe à les reconnaître, par exemple celles qui ont leur origine dans les cordes vocales).

L'audition relative, nécessaire à la pratique de la musique, est assez répandue ; il semble d'ailleurs que toute personne puisse l'acquérir par l'éducation. L'audition absolue, au contraire, est très rare. Beaucoup de musiciens, qui croient avoir l'oreille absolue, reconnaissent aisément des notes jouées sur leur instrument ou sur quelques instruments qui leur sont familiers, mais hésitent ou font des erreurs si les notes sont produites par un instrument inhabituel, à plus forte raison s'il s'agit de sons purs ; le timbre les aide donc à identifier les notes.

L'audition absolue est-elle un don inné, ou bien peut-elle s'acquérir et se développer ? Chacun peut, semble-t-il, au moins améliorer son aptitude à reconnaître les sons produits par des instruments de musique ou par la voix humaine ; mais il reste que, dans la plupart des cas, l'audition absolue est médiocre, alors qu'elle est parfois excellente chez de très jeunes enfants ; quelque faculté semble donc innée, et c'est, sinon l'oreille absolue elle-même, du moins l'aptitude à l'acquérir, aptitude remarquablement développée chez certains sujets. L'hérédité joue sans doute un rôle à cet égard, car il existe des familles où l'oreille absolue se rencontre avec une fréquence beaucoup plus grande que dans un

groupe humain quelconque.

Posséder une bonne audition absolue et relative est ce qu'on appelle couramment « avoir de l'oreille » ; la développer par l'exercice et l'éducation, c'est « acquérir de l'oreille ». Expressions fallacieuses ! La différence entre une personne qui « a de l'oreille » et une autre qui en est dépourvue ne réside ni dans la structure ni dans le fonctionnement de l'appareil auditif ; apprendre à reconnaître les sons n'est pas plus une éducation de l'oreille qu'apprendre à lire n'est une éducation de l'œil ; l'un et l'autre sont éducation de l'esprit.

Intensité sonore

Les indications de nuance (*piano*, *forte*, etc.) se rapportent aux sensations produites par les sons ; elles expriment donc la sonie. Mais, par ailleurs, les vibrations transportent de l'énergie ; la quantité d'énergie, mesurable avec des instruments appropriés, représente l'intensité du son.

Lorsqu'on parle d'intensité des sons, on utilise habituellement une unité appelée *décibel*. L'échelle des décibels est une échelle logarithmique dont l'emploi simplifie beaucoup les calculs relatifs à l'énergie transportée par les vibrations ; en effet, l'énergie mise en jeu par les sons les plus forts que l'on puisse supporter est environ 10^{13} (10 000 milliards) fois plus grande que celle des sons tout juste audibles : cet écart énorme se ramène à une différence de 130 décibels. Une différence de 10 décibels représente une intensité 10 fois plus grande, 1 décibel un rapport de 1,26 (soit une augmentation de 26 %) ; enfin, une réduction de moitié de l'intensité s'exprime par une chute de 3 décibels.

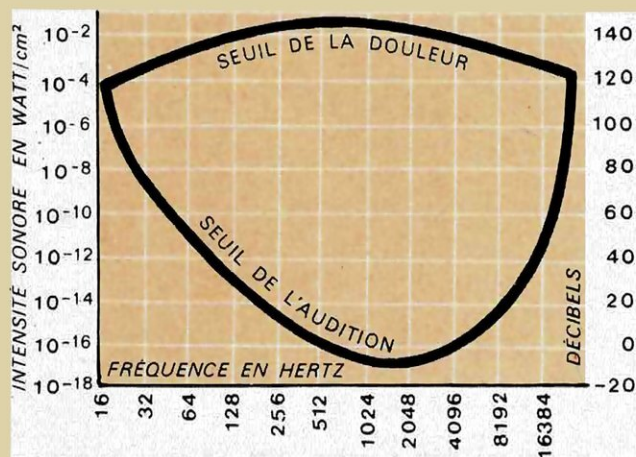
Si l'adoption d'une échelle logarithmique pour les intensités sonores répond surtout à des raisons de simplicité et de commodité, elle n'est cependant pas sans rapport avec des considérations d'un ordre différent : il s'agit de la loi de Fechner, d'après laquelle la sensation croît comme le logarithme de l'excitation. Dans le domaine auditif, la valeur de la sensation est exprimée par la sonie, celle de l'excitation par l'énergie des vibrations. Si la loi de Fechner était rigoureusement exacte,

l'échelle des décibels mesurerait directement la sonie ; elle ne l'est pas tout à fait, mais les variations de sonie restent beaucoup plus proches des différences d'intensité exprimées en décibels que des énormes variations des quantités d'énergie transportées par les vibrations.

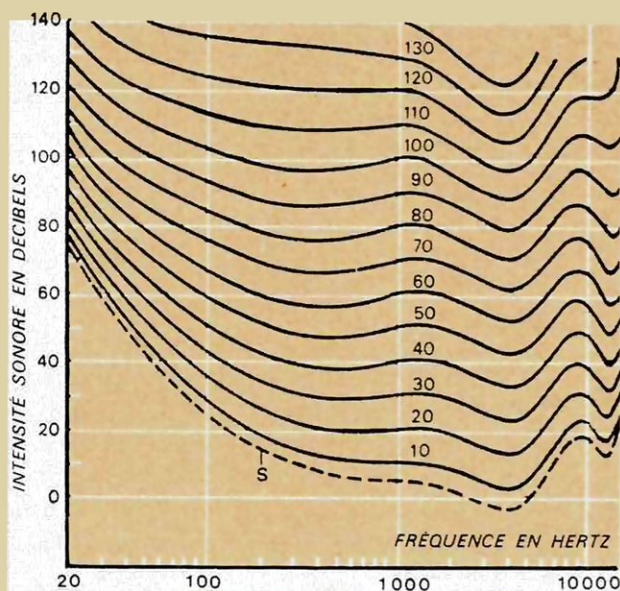
Sensibilité auditive

On appelle *seuil d'audibilité* (ou *seuil de l'audition*) pour une fréquence donnée, la plus faible intensité qui permette d'entendre un son de cette fréquence ; comme il varie légèrement d'une personne à une autre, et même, pour chacune, d'un essai à l'autre, on doit faire un grand nombre de mesures pour en connaître correctement la valeur. Le seuil d'audibilité dépend de la fréquence, et a sa valeur la plus faible pour les fréquences 2 000 à 3 000 ; cette valeur est le *seuil absolu d'audibilité* ou *seuil absolu de l'audition*, et représente la plus grande sensibilité de l'oreille ; de part et d'autre du minimum, en effet, le seuil s'élève ; en d'autres termes, la sensibilité diminue vers les graves et vers les aigus.

On peut apprécier la sensibilité de l'oreille en remarquant qu'une vibration de fréquence 2000 est audible si la pression de l'air varie d'environ un milliardième de sa valeur ; dans ces conditions, l'amplitude des déplacements du tympan est de l'ordre du centième du diamètre de la molécule d'hydrogène. Ainsi, notre sensibilité auditive



L'espace entre les deux courbes représente le champ auditif moyen d'un être humain. Les fréquences sont portées sur l'axe horizontal, les intensités sur l'axe vertical. Les courbes des seuils d'audibilité et de douleur se rejoignent pour les très graves et très aigus.



Courbes isosoniques : la sonie varie avec la fréquence et l'intensité. Le niveau d'isophonie est indiqué au-dessus de chaque courbe (en phones). La courbe s est celle des seuils.

est très fine, et même elle ne pourrait guère être meilleure ; en effet, un abaissement du seuil d'une dizaine de décibels (et de 2 à 3 décibels seulement pour les personnes dont l'ouïe est particulièrement fine) nous conduirait à percevoir un bruit de fond continu dû à l'agitation thermique des molécules de l'air...

Naturellement, nous entendons mieux avec deux oreilles qu'avec une seule : cependant, la différence de sensibilité n'est pas très grande : seulement 3 décibels. L'avantage de l'audition binaurale (ou audition avec les deux oreilles) n'est donc pas là, mais, comme on le verra plus loin, dans la stéréophonie.

Lorsqu'on augmente beaucoup l'intensité d'un son, la sensation sonore fait place à une sensation d'une autre nature, probablement tactile, qui est douloureuse ; le *seuil de douleur* dépend aussi de la fréquence (mais dans une mesure plus faible que le seuil d'audibilité). Les deux seuils peuvent donc être représentés par des courbes, et l'espace compris entre ces deux courbes représente le champ auditif moyen d'un être humain, c'est-à-dire l'ensemble des sons qu'il peut entendre.

Sonie et isophonie

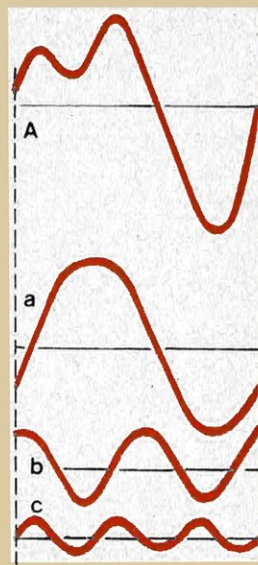
La sonie, certes, dépend de l'intensité ; il faut évidemment plus d'énergie pour

produire une même note *forte* que *mezzoforte*, et plus d'énergie pour *mezzoforte* que pour *piano*. Mais elle dépend aussi de la fréquence ; l'accroissement d'énergie pour passer d'une nuance à une autre n'est en effet pas le même pour un son grave et pour un son aigu. Les courbes de la figure à gauche (*courbes isosoniques*) indiquent à quelle intensité des sons purs de diverses fréquences ont la même sonie. Les *niveaux d'isotonie* sont exprimés par référence à la sonie d'un son de 1 000 hertz, au moyen d'une unité, le *phone*, ainsi défini : le niveau d'isotonie, en phones, d'un son de 1 000 hertz, est égal à son niveau d'intensité en décibels. Ainsi, les sons de 10 phones ont même sonie qu'un son de 1 000 hertz à 10 décibels ; ceux de 20 phones ont même sonie qu'un son de 1 000 hertz à 20 décibels, etc. A intensité égale, un son complexe est plus fort qu'un son pur ; en d'autres termes, l'introduction d'harmoniques (l'intensité restant au total la même) accroît la sonie de façon importante. Ce phénomène joue un grand rôle en musique ; c'est ainsi, par exemple, que presque toute la sonie des cordes graves du piano est due aux harmoniques élevés.

Timbre, partiels et harmoniques

Le timbre est le caractère des sons qui nous permet de reconnaître les instruments et les voix. Comme la hauteur et la sonie, il fait partie de la sensation ; mais, comme elles, il correspond à une réalité physique, qui est ici la structure complexe de la vibration et surtout la variation de cette structure dans le temps.

Dans une note jouée par un instrument de musique, une oreille exercée peut distinguer plusieurs sons : l'un, d'abord, le plus grave, qui donne à la note sa hauteur et son nom ; d'autres, ensuite, plus aigus, en nombre plus ou moins grand. Tous ces sons se nomment les *partiels* du *son complexe* produit par l'instrument. Le partiel le plus grave, celui qui définit la note, est appelée le *son fondamental* (ou, plus brièvement, le *fondamental*) ⁽²⁾. Les



Analyse d'une vibration complexe. A : onde complexe ; a, b, c : ses composantes.

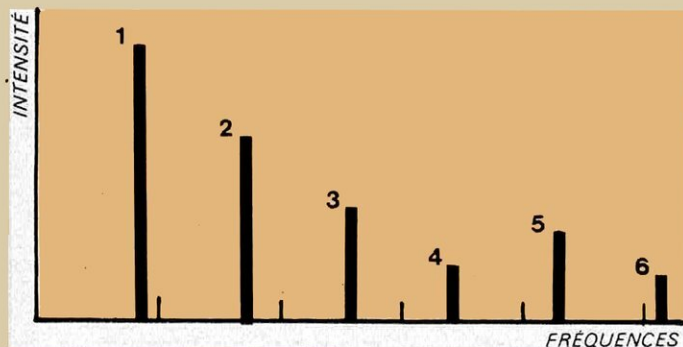
autres partiels ont des fréquences multiples (ou fréquences harmoniques) de celle du fondamental ; ce sont ses *harmoniques* ; ainsi, lorsque la note *ut*₃ (fréquence 261) est jouée au piano, on peut entendre non seulement *ut*₃, mais aussi *ut*₄ (fréquence 522 = 261 x 2), *sol*₄ (fréquence 783 = 261 x 3) et d'autres harmoniques encore, plus aigus mais plus faibles.

Rien de tel avec un *son pur* produit par un oscillateur électronique : on ne peut y entendre qu'un seul son, car il ne contient qu'une fréquence ; il en est également ainsi, ou presque, pour un son de diapason. Le son pur est d'ailleurs une création artificielle ; il n'y a pas de sons purs dans la nature ; les cordes vibrantes, les tuyaux sonores, les animaux, tous les phénomènes naturels produisent des sons complexes. Un son pur est terne et monotone ; il n'a pas de timbre ; au contraire, les harmoniques enrichissent le son d'un instrument, lui donnent plénitude et vie. La qualité du timbre dépend de l'intensité des harmoniques accompagnant le son fondamental ; ainsi, le timbre rude des cuivres est dû à l'importance des harmoniques de rang élevé, neuvième et au-delà. Les divers jeux d'un orgue font entendre des timbres différents parce que leurs tuyaux n'ont pas la même forme et ne sont pas faits de la même matière ; de ce fait, les sons qu'ils produisent n'ont pas la même composition en harmoniques.

(2) Également considéré comme le premier harmonique.

Analyse des sons

L'oreille analyse les sons complexes, puisque nous percevons les harmoniques ; mais cette analyse est grossière et incomplète, car nous entendons seulement les harmoniques dont l'intensité est assez grande ; il est possible de réaliser cette analyse de façon plus complète et plus précise par un procédé mathématique fondé sur l'étude de la courbe sonore, et par un procédé physique utilisant la résonance.



Spectre de fréquence d'une note de violon ; l'axe horizontal est gradué en fréquences de 500 en 500 hertz ; les chiffres désignent les harmoniques successifs et la longueur des traits verticaux représente leur intensité.

Si l'on enregistre la vibration correspondant à un son pur, on obtient une courbe périodique très simple, appelée *sinusoïde* ; la vibration est dite *sinusoïdale*. Une note d'instrument ou une note chantée, tout son périodique complexe, donne une courbe non sinusoïdale ; une telle courbe présente, par rapport à la forme simple de la sinusoïde, des complications qui se répètent de période en période. Le mathématicien français Fourier (1768-1830) a démontré que toute onde périodique de fréquence N , si compliquée que soit sa forme, peut être décomposée en une somme d'ondes sinusoïdales de fréquence N , $2N$, $3N$, $4N$, etc., qui sont appelées ses composantes harmoniques. La figure ci-contre montre cette décomposition dans le cas d'une onde complexe qui est la résultante de trois composantes harmoniques seulement. Dans le cas des ondes sonores, on constate par cette méthode que seuls les dix ou quinze premiers harmoniques, tout au plus, ont une importance notable.

L'analyse physique, basée sur la résonance, montre qu'il ne s'agit pas là d'un artifice mathématique, mais que

les harmoniques ont, dans la vibration sonore, une existence physique réelle. Rappelons ce qu'est la résonance : tout système capable de vibrer possède, de par sa forme et ses dimensions, une fréquence propre de vibration ; si on le soumet à une force qui agit sur lui précisément avec cette fréquence, il se met à vibrer, et cette vibration peut acquérir une grande amplitude : on dit qu'il entre en résonance. Ainsi, une corde de piano, frappée par le marteau, fait entendre une certaine note ; réciproquement, si la même note est émise par la voix humaine ou par un autre instrument au voisinage de la corde, celle-ci entre en vibration par résonance et reproduit la note.

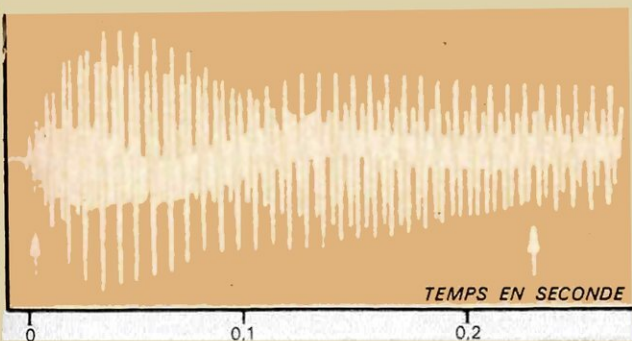
L'ensemble des cordes d'un piano, si l'on soulève les étouffoirs en abaissant la pédale, constitue un système de résonateurs capable de répondre à autant de fréquences différentes qu'il y a de touches au clavier ; si un accord de plusieurs notes est produit auprès des cordes, on voit entrer en résonance toutes celles qui correspondent aux notes contenues dans l'accord. Un tel système de résonateurs peut donc analyser un accord ; il peut aussi analyser un son musical complexe ; en chantant ou en jouant au violon, par exemple, une certaine note, on fera résonner, parmi les cordes du piano, non seulement celle qui a la fréquence du fondamental, mais aussi celles qui correspondent aux harmoniques contenus dans la vibration complexe.

Le physicien et physiologiste Helmholtz (1821-1894), dont les travaux ont joué un rôle important en acoustique physiologique, avait pris pour résonateurs des tubes de verre de forme particulière ; la série complète de ces tubes comportait toutes les notes de l'échelle musicale ; Helmholtz a ainsi montré la présence effective, dans les sons complexes, des harmoniques prévus par la méthode de Fourier. On construit aujourd'hui des analyseurs de fréquence basés sur la résonance de circuits électriques ; ces appareils donnent immédiatement le résultat de l'analyse sous forme d'un *spectre de fréquence* (ou *spectre sonore*) ; le spectre de fréquence indique non seulement quels harmoniques existent dans la vibration, mais encore leurs intensités relatives.

Timbre et transitoires

Le spectre sonore précédemment défini ne suffit pas à expliquer le timbre d'un instrument. Il caractérise le son dans son état stationnaire, mais pas dans sa période d'établissement ; or, depuis le moment où l'instrumentiste commence à accomplir le mouvement qui doit produire une note, jusqu'à ce que celle-ci atteigne son état vibratoire caractéristique, il s'écoule une période pendant laquelle la courbe sonore n'a pas de forme fixe, parce que les intensités relatives des divers harmoniques varient continuellement (en d'autres termes, le spectre sonore change pendant toute cette période). On appelle *transitoire d'attaque* ces vibrations de la période d'établissement du son ; cette période peut durer de 20 millisecondes jusqu'à 200 ou même 300 millisecondes, selon les instruments. Des phénomènes transitoires (ou, plus brièvement, des *transitoires*) se produisent également à toute modification du son, ainsi que lorsqu'il cesse (*transitoire d'extinction*).

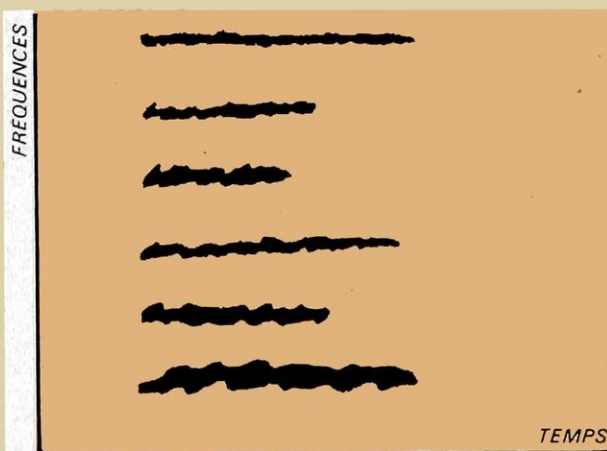
La musique et la parole ne se composent pas de sons fixes, mais de sons continuellement variables ; aussi sont-elles constituées en grande partie par des transitoires, qui jouent un rôle important dans la réalisation du timbre. Les enregistrements sur bande magnétique se prêtent bien à des expériences à ce sujet, car on peut enregistrer des sons fixes produits par divers instruments et « couper » les transitoires ; on constate alors que les instruments sont souvent très difficiles à distinguer les uns des autres, et que l'on peut confondre basson et violoncelle, cor et flûte !



Période transitoire (transitoire d'attaque) d'une note de piano. L'analyse de la courbe de cette période (entre les deux flèches : 0,23 seconde) fournit une dizaine d'harmoniques dont les intensités varient continuellement.

Sonographe et sonagrammes

Ainsi, les sons de la musique et de la voix perdent une partie de leur caractère si on les immobilise dans un état stationnaire ; ce n'est pas seulement par leur composition, c'est aussi par leur évolution continue qu'ils ont une valeur émotive et une signification. Pour les étudier complètement, il est donc à la fois nécessaire de les analyser et d'enregistrer leur spectre de fréquence en fonction du temps. C'est



Le sonagramme est capable de décrire très largement un son. En plus de l'analyse en fréquence et en durée, il indique l'intensité.

ce que l'on peut réaliser au moyen du sonographe.

Le sonographe est un appareil enregistreur qui permet d'obtenir des tracés (sonagrammes) représentant la composition de la vibration et l'évolution de cette composition dans le temps. Sur un sonagramme, le temps est porté horizontalement et les fréquences présentes dans la vibration complexe sont indiquées le long de l'axe vertical ; en outre, l'intensité de chacune des composantes est figurée par l'épaisseur du trait qui la représente. L'analyse du son est ainsi tout à fait complète ; le sonagramme permet de connaître non seulement le spectre de fréquence à chaque instant, mais aussi — ce qui est caractéristique tant de la signification des mots que d'une exécution musicale — l'évolution de ce spectre dans le temps.

Battements

Lorsqu'on produit simultanément deux sons de fréquences très voisines, nous



Oscillogramme d'un son de battement. L'intensité varie périodiquement, à une fréquence égale à la différence de celles des deux sons.

en entendons un seul, dont la hauteur est intermédiaire et dont l'intensité varie périodiquement ; la fréquence de cette modulation d'intensité est égale à la différence des fréquences des deux sons. Ces variations périodiques d'intensité (et de sonie) sont appelées *battements*.

Le phénomène des battements n'est pas particulier au son, mais se produit avec tous les phénomènes vibratoires. En acoustique, il trouve une application directe lorsqu'on accorde à une même hauteur deux cordes vibrantes (piano) ou deux tuyaux sonores (orgue) : on rectifie l'accord jusqu'à ne plus entendre de battements, ce qui revient à égaliser les fréquences de vibration.

Les battements sont parfois utilisés en musique ; ainsi, dans certains jeux d'orgue, tels que la voix céleste, chaque note est donnée par deux tuyaux désaccordés de façon à produire deux ou trois battements par seconde. Les sonneries de cloches font particulièrement bien entendre les battements.

Consonance et dissonance

Si, produisant des battements entre deux diapasons, on augmente la différence des fréquences, les battements s'accroissent d'abord, puis la perception de battements de plus en plus rapides donne naissance à une sensation de rugosité ; la différence de fréquence augmentant encore, cette rugosité du son fait bientôt place à la dissonance. Les sons des deux diapasons sont alors distincts ; la dissonance semble être à son maximum lorsque l'intervalle entre les deux diapasons est voisin du demi-ton, mais elle persiste si cet intervalle augmente, pour disparaître brusquement quand les deux diapasons se trouvent à l'octave l'un de l'autre : les deux sons fusionnent alors dans la consonance.

Les phénomènes ne sont pas du tout les mêmes si, au lieu de deux diapasons, on utilise deux cordes vibrantes. Il y a consonance parfaite lorsque les deux cordes sont à l'unisson ; si l'on augmente la fréquence de l'une d'elles, des battements apparaissent, puis la dissonance, particulièrement marquée à l'intervalle du demi-ton ; la dissonance s'atténue beaucoup lorsque les deux cordes vibrent à l'intervalle de tierce (rapport de fréquence : $5/4$), et à nouveau pour l'intervalle de quarte ($4/3$) ; elle disparaît presque complètement à la quinte ($3/2$), et l'octave réalise à nouveau la consonance parfaite. Assurément, il n'y a pas de consonance parfaite en dehors de l'unisson et de l'octave ; mais la tierce, la quarte, et surtout la quinte, méritent d'être considérées comme intervalles consonants par comparaison avec tous les autres qui sont, à des degrés variés, plus ou moins fortement dissonants. Depuis bien longtemps, on a cherché à comprendre pourquoi certains accords seulement donnaient l'impression, jugée agréable, de consonance ; philosophes et savants, depuis Pythagore, n'ont pas manqué d'insister sur un fait remarquable : les rapports de fréquence, dans les intervalles consonants, sont les plus simples après ceux de l'unisson ($1/1$) et de l'octave ($2/1$) ; d'une façon générale, plus grands sont les deux termes du rapport des fréquences d'un accord, plus cet accord est dissonant. L'interprétation de ces faits, peu scientifique, se référait habituellement au goût naturel de l'esprit humain pour la simplicité.

Helmholtz, le premier, s'est avisé de ce que les accords sont d'autant plus consonants que les deux sons ont plus d'harmoniques communes ; au contraire, la dissonance croît lorsque les deux sons présentent, parmi leurs premiers harmoniques, des sons à intervalles voisins du demi-ton. Ainsi, l'intervalle d'octave réalise une consonance parfaite, car les deux sons ont tous leurs harmoniques en commun ; deux notes à intervalle de quinte possèdent quatre harmoniques communs parmi les douze premiers harmoniques, et le demi-ton se rencontre seulement deux fois dans cette série. Par contre, l'intervalle de quarte augmentée est jugée très dissonant (*diabolus in musica*, le

diable en musique, l'appelait-on autrefois) ; justement, les deux notes qui le constituent n'ont, parmi leur douze premiers harmoniques, qu'une fréquence commune, dans les harmoniques élevés et peu intenses, tandis que le demi-ton se rencontre cinq fois, dès les tout premiers harmoniques, les plus intenses.

Ainsi, selon Helmholtz, la consonance de deux sons est due à la prédominance des harmoniques communs à ces deux sons, et la dissonance est introduite par les harmoniques qui se trouvent séparés par des intervalles proches du demi-ton. Cette théorie s'accorde avec plusieurs observations banales ; par exemple, certains accords qui sonnent bien avec des instruments ou des jeux d'orgue donnant peu d'harmoniques deviennent dissonants avec des instruments ou des jeux qui en donnent de nombreux. Nous avons indiqué que le timbre particulier des cuivres était dû à la richesse de leurs notes en harmoniques supérieurs ; ceux-ci, à partir du dixième, sont en effet à intervalle de demi-ton ou moindre, et très dissonants entre eux.

Notons enfin que le caractère désagréable des dissonances est tout relatif et que l'habitude y a sa part ; à toute époque, les compositeurs « modernes » ont utilisé des accords qui auraient choqué au siècle précédent, mais ont été plus ou moins vite acceptés, puis dépassés en dissonance.

L'orientation auditive

S'orienter au son, c'est reconnaître la direction dans laquelle se trouve une source sonore ; c'est *localiser* une source sonore dans l'espace qui nous entoure.

Médiocre et difficile en audition monaurale (c'est-à-dire avec une seule oreille), l'orientation auditive est bien meilleure en audition binaurale. Lorsqu'une source sonore est exactement dans le plan de symétrie d'une personne, les distances sont égales de la source à l'une et à l'autre de ses oreilles ; au contraire, si la source sonore n'est pas dans le plan de symétrie, ces distances sont inégales et, de plus, l'une des oreilles reçoit les vibrations plus directement que l'autre (qui est séparée de la source par la tête) ; il en résulte des diffé-

rences (d'intensité, de phase), sur lesquelles repose la localisation des sources sonores.

Des expériences réalisées en conduisant séparément aux deux oreilles, au moyen de récepteurs téléphoniques, deux sons différant seulement par l'intensité montrent que l'auditeur n'en perçoit qu'un et localise la source sonore du côté de l'oreille qui reçoit le son le plus intense ; si les intensités sont égales, il place la source dans le milieu.

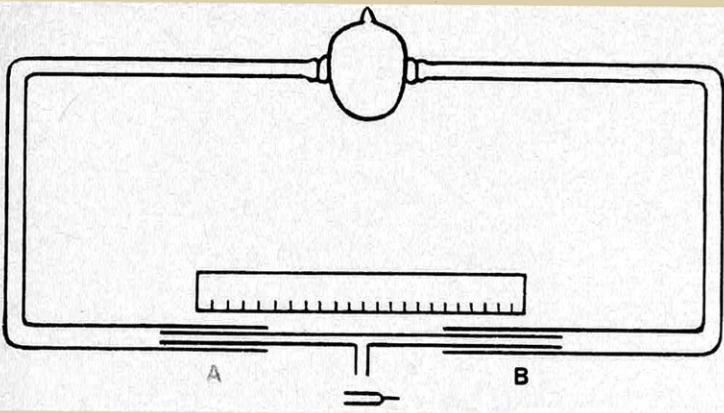
Mais il s'agit là d'une source sonore imaginaire, et on peut se demander quel est effectivement le rôle de la différence d'intensité lorsqu'il s'agit de localiser une source sonore réelle. La différence d'intensité peut être théoriquement due à deux raisons :

- 1) les deux oreilles ne sont pas à la même distance de la source ;
- 2) l'oreille qui n'est pas du côté de la source est « à l'ombre » de la tête.

Le calcul montre que la différence d'intensité due à l'inégalité des distances parcourues est très faible ; par conséquent, seul « l'effet d'ombre » doit être considéré, mais il est négligeable pour les sons de grande longueur d'onde, c'est-à-dire pour les graves, en raison de la diffraction ; en effet, la tête ne constitue pas un obstacle à la propagation de ces vibrations. Des mesures précises faites avec des sons purs ont montré qu'une différence d'intensité n'apparaît que pour des fréquences supérieures à 300 hertz ; pour les sons complexes (musique ou voix) dont la source se déplace, il s'ajoute une modification de composition (en d'autres termes, une modification du spectre de fréquence) puisque les harmoniques aigus sont relativement plus affaiblis que les graves en arrivant à l'oreille la plus éloignée de la source : aussi la différence entre les sons reçus par les deux oreilles augmente-t-elle très vite, surtout pour la voix, lorsque la source sonore s'éloigne du plan de symétrie. C'est sans doute ce qui explique que la voix permette aisément l'orientation.

Rôle de la différence de phase

Le son arrive avec un léger retard à l'oreille la plus éloignée de la source sonore. Ce retard a la plus grande valeur possible lorsque la source est



Le son étant conduit séparément aux deux oreilles, le diapason est localisé du côté du plus court trajet, tant que la différence de marche (obtenue en faisant coulisser A B) ne dépasse pas une demi-longueur d'onde.

exactement sur le côté, à droite ou à gauche du sujet ; le supplément de distance à parcourir (couramment appelé *différence de marche*) est alors la distance des oreilles, 21 centimètres en moyenne (ce qui donne un retard de 0,63 ms). Si, au moyen de deux récepteurs téléphoniques, on conduit aux deux oreilles des sons très brefs (ou *clics*) décalés dans le temps, le sujet en entend un seul, qui lui semble produit par une source sonore située du côté de l'oreille recevant le premier clic (à condition que l'intervalle entre eux reste inférieur à 1 milliseconde ; si l'intervalle est plus grand, le sujet entend deux clics, successivement, dans une oreille et dans l'autre).

Lorsque, au lieu de clics, il s'agit de sons périodiques, le retard s'exprime par une *différence de phase*. Le rôle de cette différence de phase dans la localisation d'une source sonore peut être mis en évidence au moyen d'un diapason dont le son parvient séparément aux deux oreilles en parcourant des trajets que l'on rend à volonté égaux ou inégaux ; on constate que le sujet localise le diapason du côté du trajet le plus court, c'est-à-dire du côté de l'oreille pour laquelle le son est en avance de phase, à condition toutefois que la différence de phase ne dépasse pas une demi-période de la vibration ou, ce qui revient au même, que la différence de marche reste inférieure à une demi-longueur d'onde.

Quand la propagation du son se fait en champ libre dans l'atmosphère, l'oreille la plus éloignée de la source

sonore est en retard de phase ; mais, là encore, le retard de phase n'est interprétable sans ambiguïté que si la différence de marche est inférieure à une demi-longueur d'onde ; en effet, lorsque la différence de marche devient égale à la demi-longueur d'onde, il est impossible de dire si l'une des vibrations est en retard sur l'autre et, pour une différence de marche plus grande encore, le retard devient une avance de phase. De même, lorsque deux coureurs, sur une piste circulaire, sont diamétralement opposés, il est impossible, si on n'a pas assisté au début de la course, de savoir lequel est en tête ; si le second coureur perd encore du terrain, il semblera être en avance sur le premier.

Par suite, la localisation par différence de phase semble être réservée aux vibrations pour lesquelles la demi-longueur d'onde est supérieure à la plus grande différence de marche possible, soit 21 centimètres (distance des oreilles), c'est-à-dire aux vibrations de fréquence inférieure à 800 hertz ; ce sont justement celles pour lesquelles la différence d'intensité joue un rôle moindre. L'orientation auditive se fait donc grâce aux différences de phase pour les graves, aux différences d'intensité pour les aigus, avec une région intermédiaire (de 300 à 800 hertz au moins) où les deux facteurs interviennent à la fois.

La stéréophonie

Etymologiquement, la stéréophonie est l'audition dans l'espace, c'est-à-dire la perception d'un relief sonore, ou encore d'une perspective sonore. Au théâtre, même les yeux fermés, nous situons les acteurs sur la scène et nous suivons leurs déplacements, à condition d'entendre des deux oreilles ; de même, dans un concert d'orchestre, l'ouïe nous permet de situer les divers groupes d'instruments. Il n'en est pas ainsi dans une transmission radiophonique simple, car le haut-parleur est l'origine de tous les sons : les artistes et les instruments semblent se trouver tous au même endroit, ou, tout au moins, dans la même direction ; en d'autres termes, il n'y a pas l'espace sonore.

La connaissance des bases de l'orientation auditive a conduit à la repro-



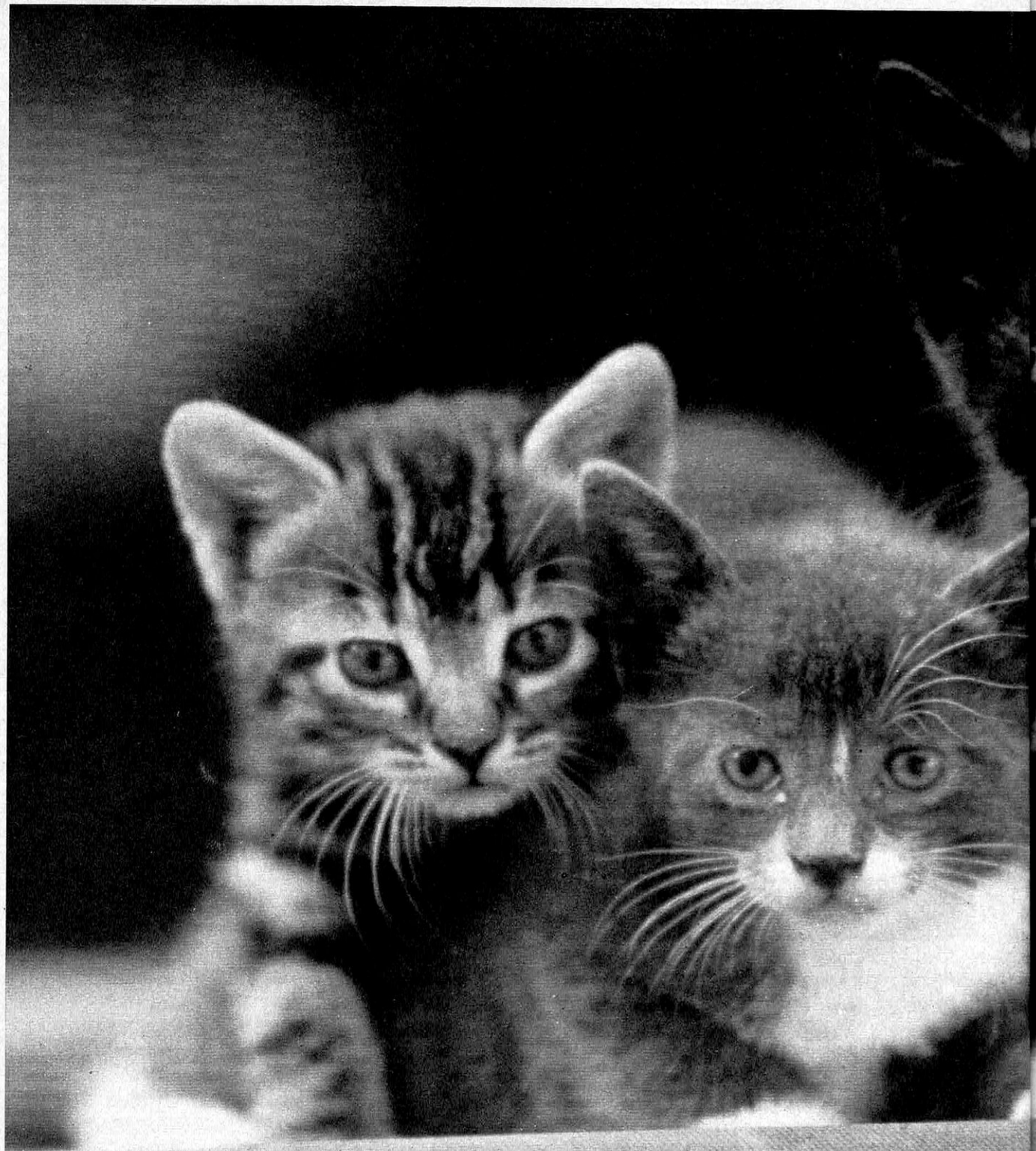
Anderson-Giraudon

duction stéréophonique des sons (enregistrements, radiophonie). Pour reproduire la perspective sonore, le moyen le plus simple, en même temps que le meilleur, consiste à utiliser deux microphones, situés comme les deux oreilles d'un mannequin, et à les relier, par des voies de transmission indépendantes, à deux écouteurs placés sur les oreilles de l'auditeur ; dans ces conditions, la reproduction stéréophonique est parfaite ; l'auditeur entend les instruments ou les acteurs avec leur répartition réelle dans l'espace et il perçoit aussi leurs déplacements.

Lorsque la reproduction est assurée par des haut-parleurs, il faut théoriquement un assez grand nombre de microphones, associés à un nombre cor-

respondant de haut-parleurs ; en pratique, cependant, la transmission à deux voies (deux microphones, deux haut-parleurs) donne une restitution satisfaisante de la perspective sonore. En même temps, la stéréophonie transmet la sonorité — qui dépend des harmoniques et des transitoires — beaucoup mieux que ne le fait la monophonie, sans doute parce qu'elle reproduit plus exactement, pour tous les harmoniques, les différences d'arrivée aux deux oreilles (et, par suite, au cerveau). Pour les musiciens, la reproduction de la sonorité est probablement l'essentiel, et c'est en cela que réside la supériorité de la stéréophonie.

André GRIBENSKI





L'OREILLE ET L'ANALYSE DES SONS

Depuis les travaux de Von Békésy sur l'analyse des fréquences au niveau de l'oreille interne, des méthodes très modernes ont permis d'en étendre ou d'en affiner les conclusions. Les données obtenues sont toutefois très insuffisantes pour une compréhension réelle des mécanismes de l'audition. L'interprétation de ce qui se passe d'essentiel au niveau des voies et des centres nerveux nous échappe encore largement.

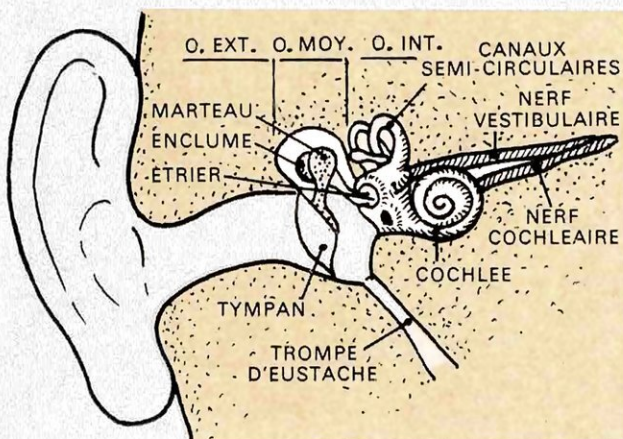
● Au niveau de l'oreille interne et des centres auditifs, la perception des sons et de leurs caractéristiques fait intervenir des phénomènes très complexes. Le processus le plus important est sans aucun doute l'analyse des fréquences. Depuis l'Antiquité, on avait eu l'intuition que l'oreille était capable de séparer les différentes composantes des sons et qu'elle contenait des structures capables d'entrer en résonance pour chacune des fréquences. Duverney, médecin de Louis XIV, avait décrit en 1683, dans son « Traité de l'organe de l'ouïe » la lame spi-

rale osseuse de la cochlée à laquelle il attribuait de telles propriétés. On sait actuellement que ce n'est pas cette lame osseuse, mais la membrane basilaire qui lui est attachée, qui joue le rôle d'analyseur. L'interprétation de Duverney n'était cependant pas très loin de la réalité.

En 1863, Helmholtz allait préciser cette idée de résonance dans une théorie très cohérente de l'audition, faisant intervenir la résonance des fibres qu'il supposait exister au niveau de la membrane basilaire. L'influence de cette théorie sur les recherches ultérieures a été très grande. Toutefois, ces dernières années, des concepts différents ont été proposés, tandis que l'acquisition de nouvelles données expérimentales, obtenues grâce aux perfectionnements techniques, modifiait quelque peu les données du problème.

L'anatomie globale de l'oreille

On divise classiquement l'oreille en trois parties, l'oreille externe, l'oreille moyenne et l'oreille interne. L'oreille externe comporte le pavillon et le conduit auditif externe, qui servent à concentrer les ondes sonores sur la membrane du tympan. L'oreille moyenne est constituée par une cavité osseuse, la caisse du tympan, qui contient la chaîne des osselets (marteau, enclume et étrier) lesquels transmettent les vibrations sonores vers



Les différentes parties de l'appareil auditif : oreille externe, oreille moyenne et oreille interne, sont visibles sur ce schéma d'ensemble. Le son transmis par le tympan, le marteau, l'enclume et l'étrier, pénètre dans l'oreille interne par la fenêtre ovale. Au-dessous de la fenêtre ovale, on distingue la fenêtre ronde obturée par une membrane.

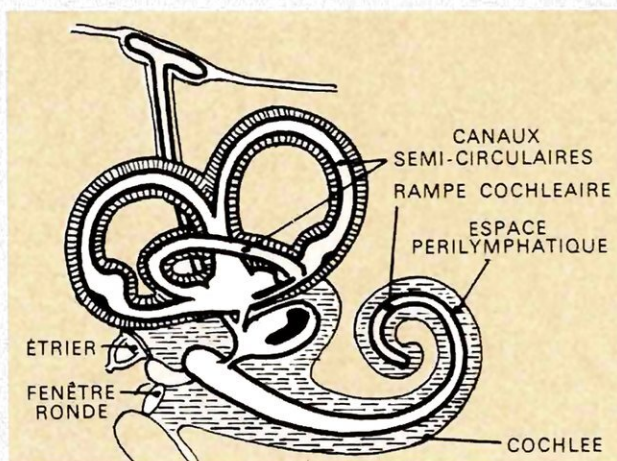


Schéma de l'ensemble du labyrinthe montrant les organes de l'audition (cochlée) et les organes de l'équilibration (canaux semi-circulaires).

l'équilibration et de l'audition. La partie auditive est la cochlée ou limaçon. Il s'agit d'un tube osseux enroulé autour d'un axe constitué par le nerf auditif. Le tube, long de 35 mm chez l'homme, est lui-même divisé en trois canaux, dans le sens longitudinal, par deux cloisons qui sont la membrane basilaire et la membrane de Reissner. La rampe centrale, ou rampe cochléaire, contient l'organe sensible de l'audition, l'organe de Corti, et elle est remplie d'un liquide, l'endolymphe.

Les fibres du nerf auditif prennent naissance au niveau de l'organe de Corti, où se produisent des phénomènes complexes aboutissant à l'excitation des fibres. Les deux autres canaux, la rampe tympanique et la rampe vestibulaire, sont remplis d'un autre liquide, la périlymphe.

La fenêtre ovale met en relation l'étrier avec la rampe vestibulaire, à la partie basale de la cochlée. La fenêtre ronde, fermée par une membrane, met en correspondance l'oreille moyenne avec la rampe tympanique.

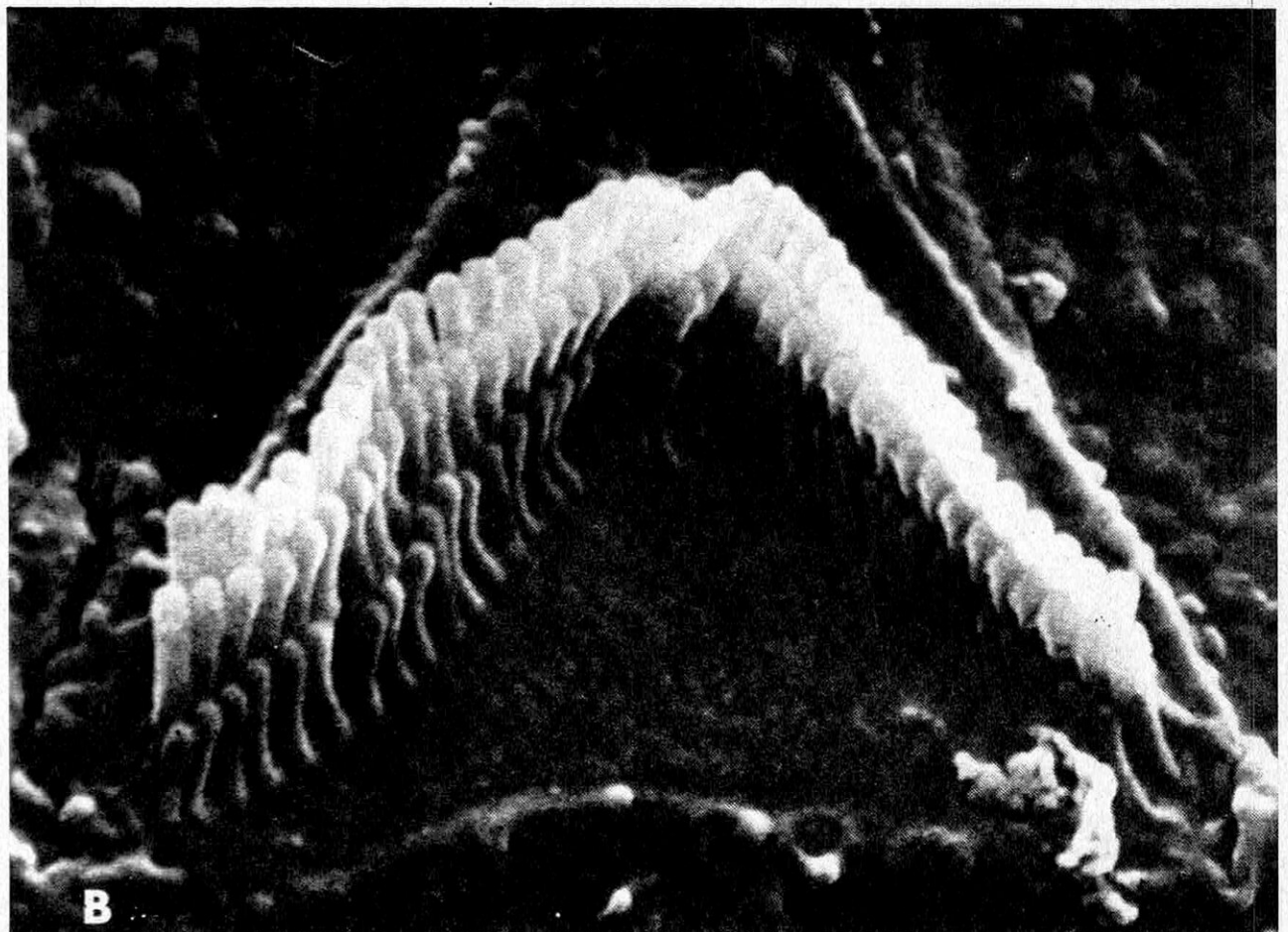
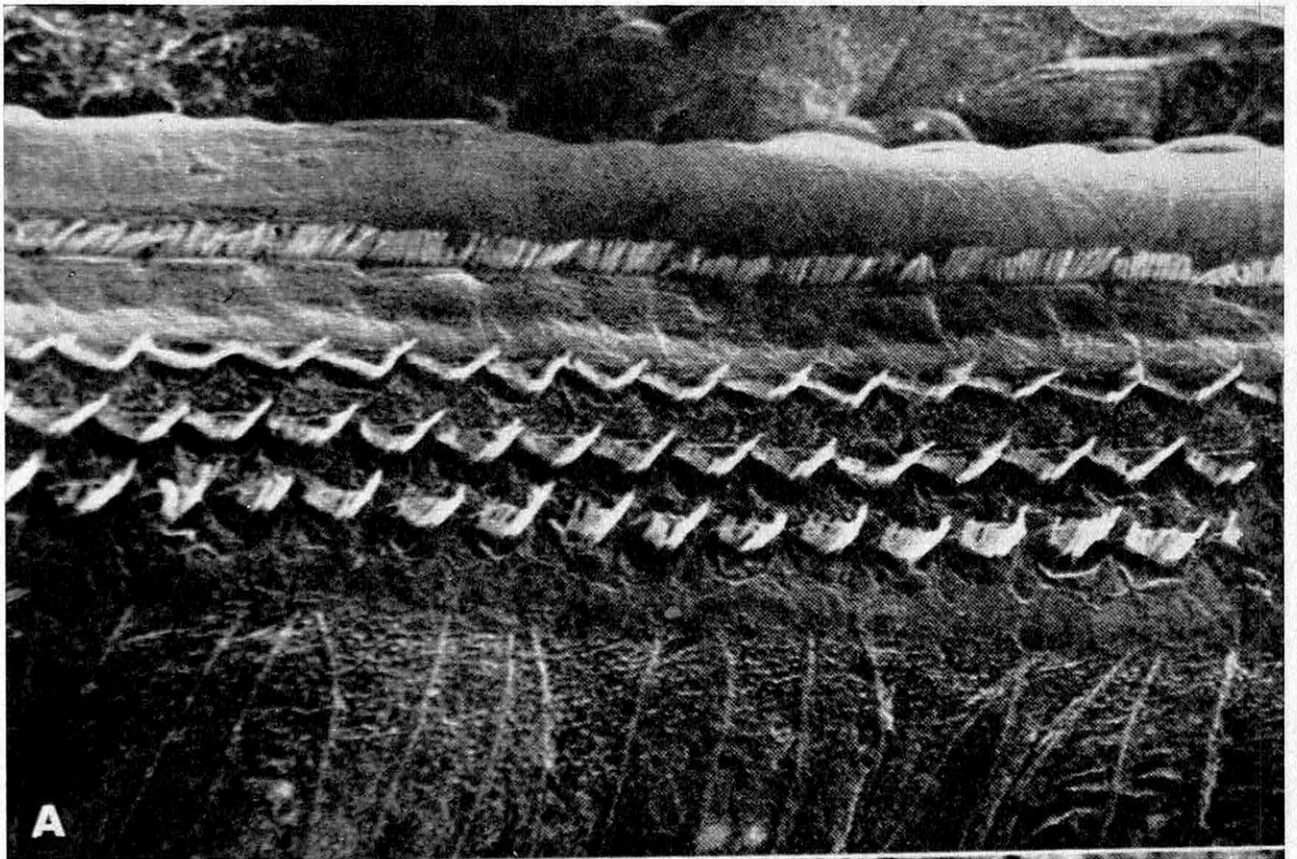
L'organe de Corti comprend deux groupes de cellules sensorielles dites cellules ciliées, qu'on peut individualiser sur une coupe transversale. Les deux groupes reposent sur la membrane basilaire par l'intermédiaire de cellules de soutien et sont séparés par une sorte de tunnel, le tunnel de Corti. Le groupe des cellules ciliées internes comporte une seule rangée de cellules (elles sont, au total, au nombre de 3 000). Le groupe de cellules ciliées externes en comporte trois rangées (9 000 cellules en tout).

Au pôle apical des cellules, sont implantés les cils, au nombre de 80 à 100 par cellule. Leur disposition est un peu différente pour les cellules internes et externes, ce qui semble indiquer que leur orientation fonctionnelle n'est pas la même. Une membrane de consistance gélatineuse, la membrane tectoriale, vient surplomber et frotter contre les cils, tout au moins du côté des cellules ciliées externes. Ce sont probablement les tiraillements des cils qui déclenchent les processus d'excitation.

l'oreille interne. L'étrier transmet les vibrations à l'oreille interne à travers un orifice, la fenêtre ovale. Le rôle du système tympan-osselets est de réaliser une adaptation d'impédance acoustique entre le milieu aérien et les liquides de l'oreille interne (1).

L'oreille interne est constituée de plusieurs cavités osseuses, qui contiennent les organes de

(1) Voir Science et Vie HS n° 94 « Les Sons ».



A. Photographie au microscope électronique à balayage, montrant les cils des cellules de l'organe de Corti vues d'en-dessus. On distingue la ran-

gée des cils des cellules internes et les trois rangées des cils des cellules externes. B. A plus fort grossissement, les cils d'une cellule ciliée externe.

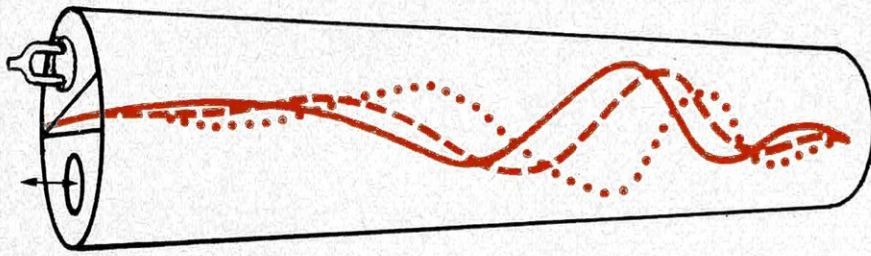


Schéma de la cochlée déroulée montrant la position de la membrane basilaire à trois instants différents. Ainsi se propage une onde vers le som-

met, qui passe par un maximum à un endroit donné. Le liquide baignant les rampes vestibulaire et tympanique en est le milieu de propagation.

Les phénomènes mécaniques dans la cochlée

Il est commode de représenter la cochlée déroulée. D'après de nombreux auteurs, cette schématisation ne modifie pas l'interprétation des phénomènes mécaniques qui s'y déroulent.

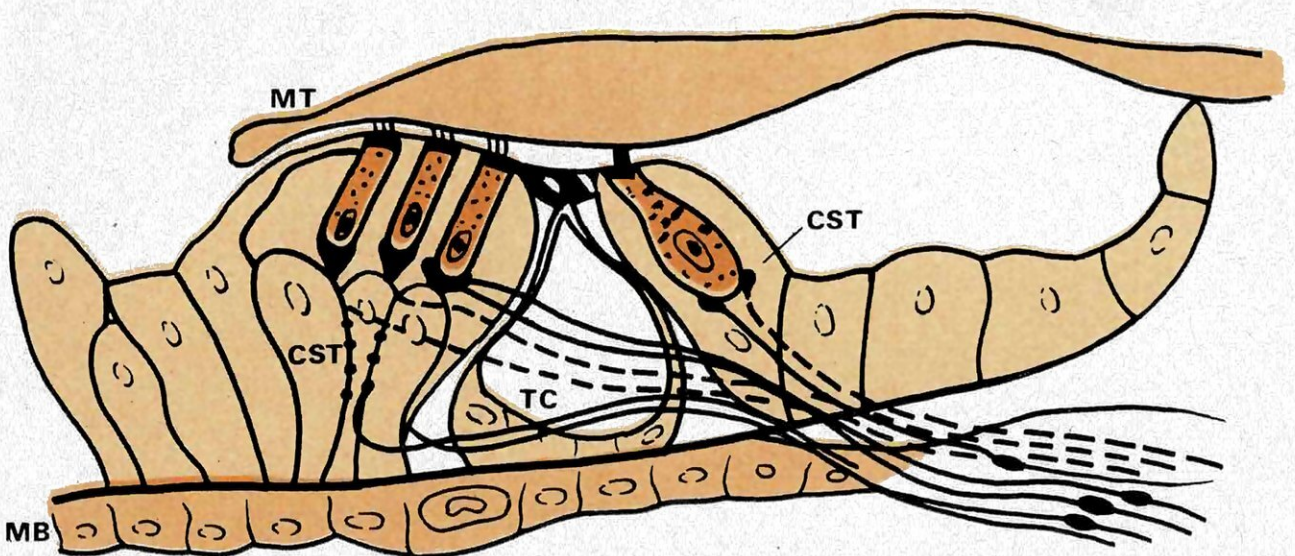
Lorsque l'étrier s'enfonce dans la fenêtre ovale, une surpression est réalisée dans le liquide périlymphatique. Cette pression se transmet vers l'extrémité de la cochlée, puis se propage à travers un petit canal (l'hélicotrema) à la périlymphe de la rampe tympanique, ce qui produit un bombement de la membrane de la fenêtre ronde vers l'extérieur. Lorsque la fréquence est assez élevée, la pression ne peut plus se transmettre à la rampe tympanique par l'hélicotrema, mais elle repousse la membrane de Reissner et la membrane basilaire vers le bas, ce qui déclenche une onde qui se propage vers le sommet de la cochlée. C'est donc l'ensemble de la rampe cochléaire qui vibre. Cependant, en raison de sa structure, c'est la membrane basilaire qui détermine les caractéristiques vibratoires de l'ensemble.

Une particularité importante de la membrane

basilaire est la graduation de ses propriétés mécaniques de la base au sommet. Elle est étroite et épaisse à la base, s'élargissant et s'amincissant vers le sommet. Sa rigidité est 200 fois plus grande dans la partie basale que dans la partie apicale. Vers le sommet, la rampe cochléaire s'élargit également et la masse de l'organe de Corti est plus grande. Il en résulte que les propriétés vibratoires à chaque niveau sont déterminées par les caractéristiques mécaniques de la membrane basilaire et des structures qui lui sont associées. En fait, on constate que les fréquences élevées se localisent vers la base et les fréquences basses vers le sommet de la cochlée.

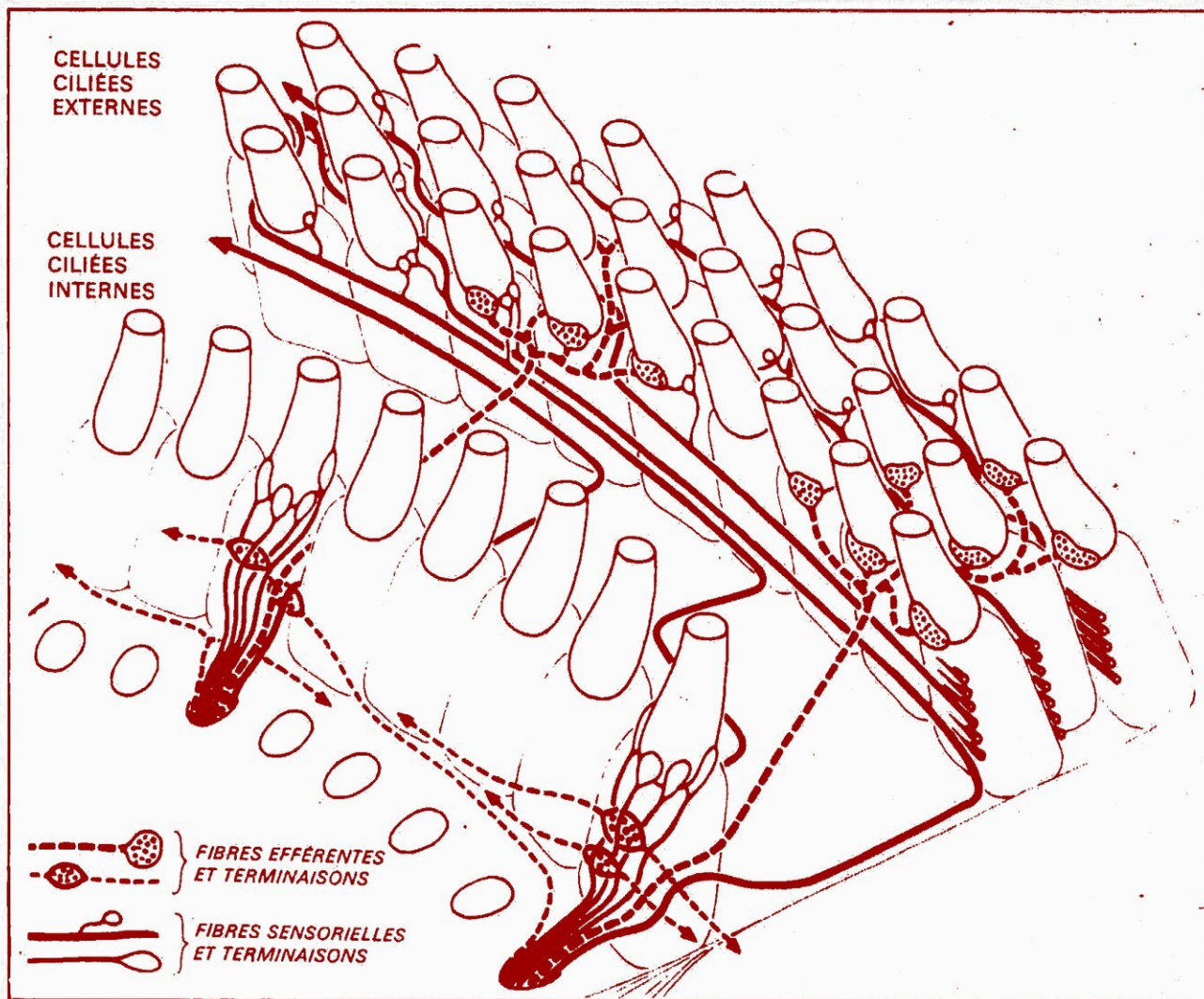
À la base des cellules ciliées sont situées les terminaisons sensorielles des fibres du nerf auditif. Elles forment des sortes de boutons (synapses) en contact avec les cellules. La répartition de ces terminaisons autour des cellules ciliées est assez complexe.

Les cellules ciliées internes reçoivent principalement des fibres à direction radiale qui rentrent en contact avec deux ou trois d'entre elles. Les cellules ciliées externes reçoivent des fibres qui, après avoir traversé le tunnel de Corti, font un trajet spiral sur une assez grande longueur et



L'organe de Corti avec les deux groupes de cellules ciliées, internes et externes, surmontées par la membrane tectoriale. A la base de ces cellules, les

boutons constituant les terminaisons des fibres du nerf auditif. En pointillé, les fibres inhibitrices. CST : cellules de soutien. TC : tunnel de Corti.



Dessin schématique montrant les deux groupes de cellules ciliées, internes et externes, légèrement inclinées sur le tunnel central (tunnel de Corti). En traits pleins, les fibres sensorielles : à trajet court,

radial, faisant contact avec les cellules ciliées internes ; à trajet long, spiral, se répartissant autour des cellules ciliées externes. En pointillé, les fibres efférentes (inhibitrices). D'après Spændlin.

rentrent en contact avec d'assez nombreuses cellules. Paradoxalement, les fibres radiales qui innervent les cellules ciliées internes seraient les plus nombreuses, représentant 90 % du total des fibres du nerf auditif (Spændlin). Ces fibres transmettraient des informations sur l'emplacement des processus vibratoires le long de l'organe de Corti. Selon certains auteurs, les fibres spirales modifieraient, grâce à certaines interactions, l'activité des fibres radiales.

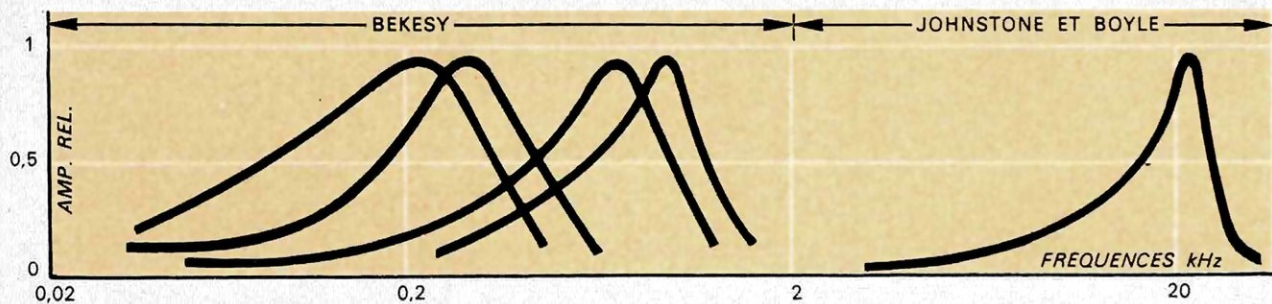
Le rôle respectif des deux groupes de cellules ciliées reste encore incertain. Il semble toutefois démontré que les cellules ciliées externes présentent une sensibilité plus grande que les cellules internes.

Comment vibre la membrane basilaire

C'est à Von Békésy que l'on doit, vers les années 50, les premières observations et mesures directes des vibrations de la membrane basilaire, au moyen du microscope et d'un éclairage stro-

boscopique. Etant donné les limitations de sa technique, cet auteur avait été conduit à observer seulement les vibrations de basses fréquences dans les parties apicales de la cochlée. Il avait démontré à cet endroit l'existence d'une résonance assez atténuée. Les courbes de sélectivité de chaque point montraient un affaiblissement de l'amplitude de 6 dB par octave du côté des basses fréquences et de 12 dB par octave du côté des fréquences élevées. Ces valeurs correspondaient à une capacité de séparation des fréquences beaucoup plus faible que celle que révèle l'étude de la perception sonore. Il fallait dès lors admettre que le système nerveux pouvait réaliser un autre filtrage des fréquences.

Plus récemment, de nouvelles méthodes d'exploration ont permis d'étudier les vibrations de la membrane basilaire avec une plus grande précision, et surtout à la base de la cochlée. Parmi ces méthodes, on peut citer celle de Mössbauer qui fait appel au rayonnement d'un petit cristal de Cobalt 58 radioactif que l'on dépose sur la membrane basilaire. Lorsque la membrane se



Courbes de réponse de la membrane basilaire en fonction de la fréquence. Les courbes obtenues

par Békésy correspondent au sommet de la cochlée ; les courbes de Johnstone et Boyle à sa base.

déplace, la fréquence de ce rayonnement varie (effet Doppler). On peut ainsi, grâce à une analyse réalisée à l'aide d'un ordinateur, en déduire les paramètres du mouvement de la membrane basilaire.

Cette technique a permis, aux USA, à plusieurs chercheurs (Johnstone et Johnstone ; Rhodes et Robles) d'obtenir de nouvelles données qui indiquent qu'au niveau de la partie basale de la cochlée, l'analyse des fréquences est très sélective. Pour un point donné de la membrane basilaire, l'amplitude des vibrations s'atténue très rapidement lorsque la fréquence du son s'éloigne de la fréquence de résonance. L'atténuation est de 24 dB par octave du côté des basses fréquences et de 150 dB par octave du côté des fréquences élevées.

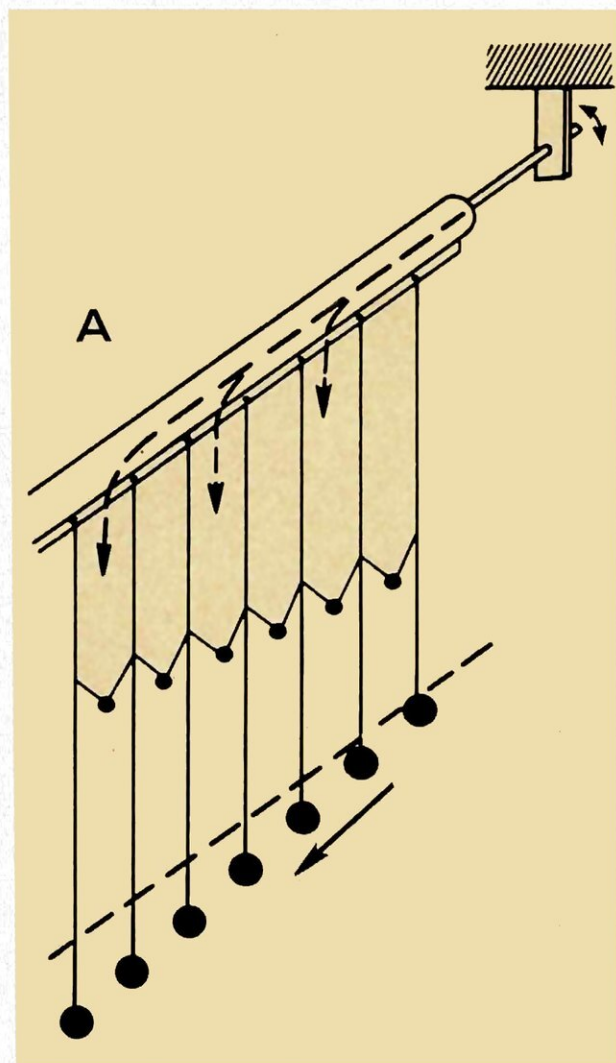
D'autres méthodes, telles que l'interférométrie utilisant la lumière d'un laser (Kolhoffel, en Allemagne) ou la mesure des variations de capacité électrique d'une sonde placée à proximité de la membrane basilaire (Wilson, en Angleterre) semblent confirmer l'existence, à la base de la cochlée, d'une résonance aiguë et, corrélativement, d'un faible amortissement.

Selon certains auteurs, l'amplitude des vibrations présenterait des variations linéaires en fonction de l'intensité (elle serait directement proportionnelle à l'intensité). Pour d'autres, une forte non-linéarité se manifesterait, même aux faibles niveaux sonores. Certaines considérations théoriques indiquent que cette non-linéarité pourrait jouer un rôle dans la sélectivité cochléaire. Elle expliquerait aussi certaines distorsions de la sensation.

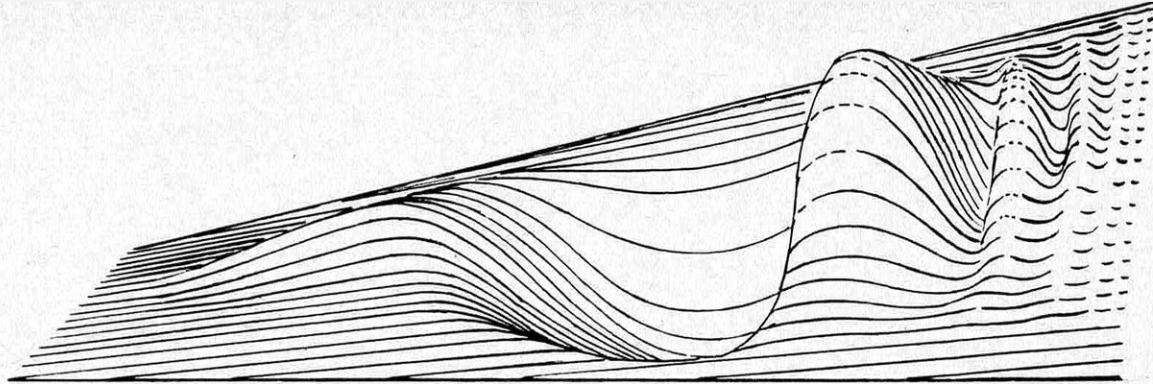
Pas de résonateurs indépendants

Selon la conception de Helmholtz, chaque point de la membrane basilaire représenterait un résonateur indépendant capable de vibrer pour une gamme de fréquences très étroite. Békésy et d'autres auteurs ont réalisé des modèles physiques représentant le fonctionnement cochléaire. Dans certains d'entre eux, la membrane basilaire était remplacée par une membrane en caoutchouc. On pouvait vérifier que chaque point vibrerait en présentant un décalage de phase dé-

pendant de son élasticité et de son inertie. La membrane représentant la membrane basilaire pouvait être considérée comme une série de résonateurs dont les propriétés sont graduées de la base au sommet.



Un des systèmes imaginés par Békésy, capable de produire des mouvements analogues à ceux de la membrane basilaire. Une série de pendules de longueurs variables (et reliés les uns aux autres) figure les différents points de la membrane basilaire dont la résonance varie avec la masse et l'élasticité. Lorsque les pendules sont ébranlés par la tige à laquelle ils sont attachés, ils oscillent.



Aspect de la membrane basilaire à un instant donné lorsqu'on applique un son continu. On note que

l'amplitude est maximale à un certain endroit. Au delà de ce maximum, l'amplitude chute très vite.

Dans le fonctionnement décrit par Helmholtz, où les résonateurs sont vraiment indépendants, le retard de phase ne peut être supérieur à une période complète (soit 2π). Dans le cas de la membrane basilaire, les mesures sur la cochlée réelle ont montré des retards de phase allant jusqu'à 5π vers le sommet. Ceci a amené certains chercheurs (Békésy, Zwislocki, Tonndorf) à considérer que les différents points de la membrane basilaire étaient plus ou moins couplés avec leurs voisins, ce qui paraît d'ailleurs logique puisqu'il s'agit d'une membrane continue.

D'autre part, les liquides et les structures avoisinantes participent aussi à la détermination des propriétés vibratoires et peuvent créer des couplages. L'énergie se transmettrait alors d'un point à un autre comme dans le cas d'une onde progressive se propageant à la surface d'un liquide. L'amplitude du déplacement passerait par un maximum à l'endroit présentant une résonance pour la fréquence du stimulus. Cette conception, qui n'abandonne pas l'idée de résonance, correspond assez bien aux données expérimentales.

La description sous forme d'équations mathématiques de l'ensemble des mouvements de la membrane basilaire reste difficile, étant donnée la relative imprécision des mesures des caractéristiques physiques (masse, élasticité, amortissement) des diverses structures cochléaires.

Cas particulier des sons transitoires

Bien qu'ils représentent des signaux simples dont l'utilisation est fort intéressante dans les études théoriques, les sons purs, continus, sont rares dans la nature. Pratiquement, les sons complexes sont les plus fréquents et, parmi eux, les sons **impulsifs**, ou transitoires, sont probablement les plus importants. La théorie de l'information démontre en effet que seuls les transitoires permettent de transmettre les informations. Ainsi les sons du langage sont constitués en grande partie de transitoires.

L'analyse des transitoires pose des problèmes particuliers. Elle est assez difficile à réaliser par des procédés physiques, alors que l'oreille semble

réaliser cette analyse d'une manière très efficace.

Les différents aspects théoriques de ce problème ont été récemment étudiés en détail par Pimonow. Une fréquence n'existe physiquement que si le son a une certaine durée, nécessaire à l'établissement de sa périodicité et de son spectre. Pour un signal très bref, on peut considérer que la fréquence est indéterminée et que le spectre est infini. Pour les transitoires en général, le spectre n'a pas eu le temps de se former mais est en cours de formation. L'oreille est capable de suivre l'évolution de ce spectre et de réaliser une analyse (en temps réel) remarquablement précise.

Le mécanisme de cette analyse fait intervenir la localisation des fréquences, c'est-à-dire la résonance des filtres représentés par les différents points de la membrane basilaire, mais aussi, vraisemblablement, la synchronisation des influx nerveux avec les différentes phases du signal. Grâce à ce double système de codage, l'oreille est capable de distinguer la forme de l'onde en même temps que le spectre du signal. En réalisant cette double analyse, elle peut surmonter une difficulté théorique qui découle du principe d'incertitude de Heisenberg. Ce principe indique qu'il n'est pas possible de déterminer simultanément la fréquence d'un signal et son déroulement dans le temps (ou sa phase).



Jessuel-Arepi.

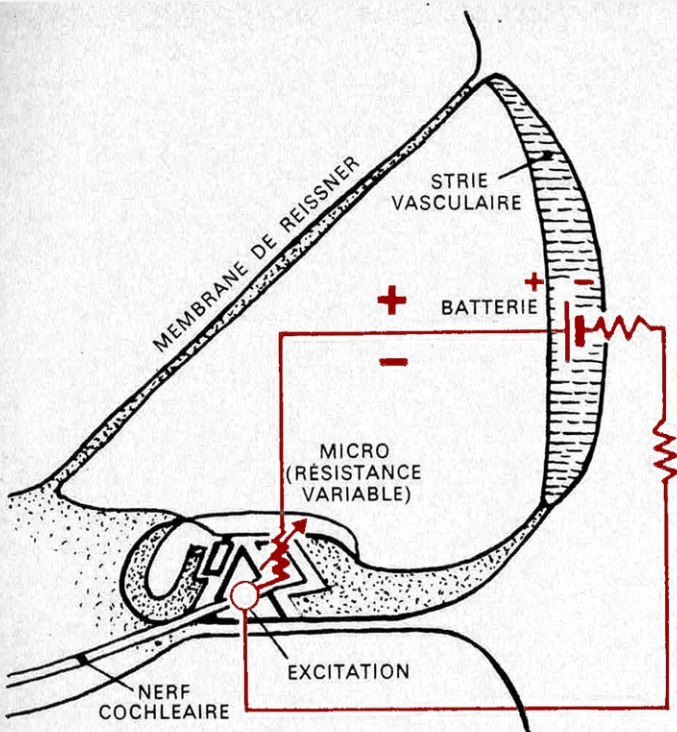


Schéma montrant le mécanisme producteur du potentiel microphonique selon Davis. Au niveau de l'organe de Corti, les vibrations produisent des variations de résistance électrique qui modulent le courant constant fourni par la strie vasculaire (zone particulière fermant sur le côté la rampe cochléaire où existent de nombreux vaisseaux). Il en résulte des variations de potentiel électrique.

Des phénomènes électriques cellulaires

L'organe de Corti est le siège de manifestations électriques dont le rôle n'est pas encore très bien élucidé mais qui, vraisemblablement, interviennent dans l'excitation des terminaisons auditives.

Au repos, en l'absence d'excitation, il existe une différence de potentiel permanente entre l'endolymphe et la périlymphe. On pense que cette différence de potentiel pourrait jouer le rôle de « batterie », fournissant l'énergie pour les autres phénomènes électriques et, en particulier, pour la production du potentiel microphonique.

Comme son nom le suggère, le **potentiel microphonique** reproduit sous forme de variation électrique la vibration mécanique de la membrane basilaire. Il est produit par les cellules ciliées et on peut l'enregistrer en faisant pénétrer une électrode à proximité de ces cellules. On vérifie ainsi que chaque point de l'organe de Corti présente une sélectivité pour les fréquences analogue à celle observée pour les mouvements mécaniques. Dans certains cas, toutefois, la précision des mesures électriques peut être altérée par la diffusion des courants dans les régions voisines.

L'étude du potentiel microphonique a néanmoins permis d'obtenir de nombreuses données sur les mécanismes cochléaires. Chaque cellule ciliée constitue, au fond, un transducteur méca-

noélectrique associé à chaque point de la membrane basilaire.

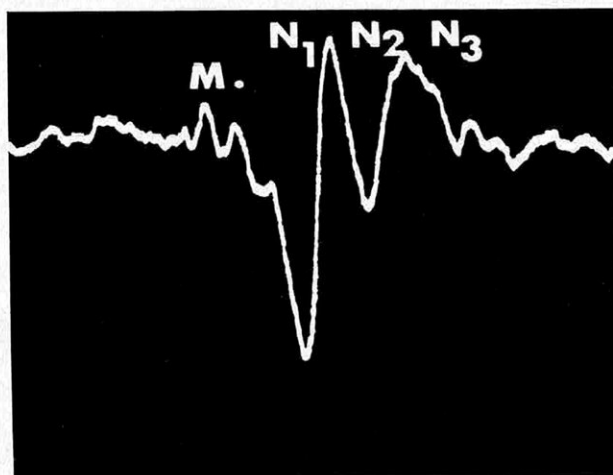
L'origine de ce potentiel reste encore controversée. Une des théories les plus vraisemblables est celle proposée par H. Davis, qui considère que les cellules ciliées présenteraient des variations de résistance électrique au cours des stimulations. Ces variations moduleraient le courant continu fourni par la différence de potentiel existant entre la rampe cochléaire et la rampe tympanique. Il s'agirait d'un mécanisme assez semblable à celui des microphones classiques à grille.

Bien qu'il n'existe pas de preuve réelle du rôle du potentiel microphonique dans l'excitation des terminaisons auditives, celui-ci est très probable.

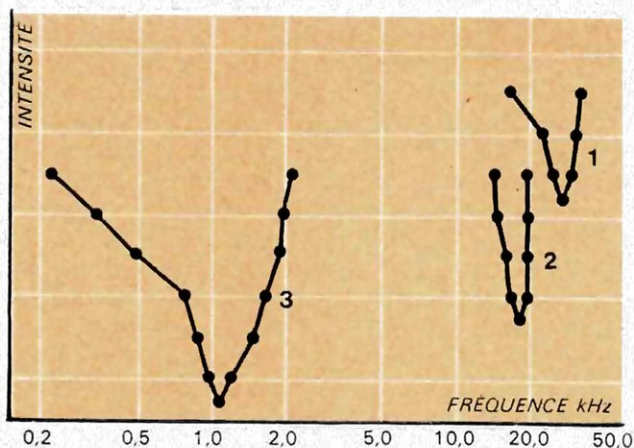
Potentiels d'action du nerf auditif

Les divers phénomènes, mécaniques, électriques et biochimiques, qui se produisent dans la cochlée, aboutissent en fin de compte à l'excitation des terminaisons nerveuses du nerf auditif. Le tronc de ce nerf comporte chez l'homme 35 000 fibres. Les potentiels d'action du nerf auditif, ou influx nerveux auditifs, représentent le message tel qu'il est transmis depuis la cochlée jusqu'aux centres nerveux, et en particulier au cortex cérébral.

En plaçant une électrode en contact avec la cochlée, on peut enregistrer chez l'animal un potentiel d'action, dit **potentiel global**, car il correspond à la sommation d'un très grand nombre d'influx produits dans chacune des fibres. On l'observe plus facilement lorsque le stimulus est un « clic » bref, qui déclenche des influx très bien synchronisés dont l'addition donne des po-



Potentiel d'action global du nerf auditif enregistré chez le cobaye par une électrode en contact avec la cochlée. Le stimulus est un son bref (clic) qui produit un potentiel microphonique de faible amplitude (M). Il est suivi par trois ondes négatives N1, N2, N3 qui représentent la somme de nombreux influx unitaires survenant simultanément.



Courbe du seuil des réponses en fonction de la fréquence pour différentes fibres du nerf auditif. Les fibres 1 et 2, répondant aux fréquences élevées, ont des bandes passantes très étroites et donc une plus grande sélectivité que la fibre 3.

tentiels de grande amplitude. L'influx global apparaît en général sur les tracés oscillographiques comme une série de trois pointes négatives (désignées par N_1 , N_2 , N_3) sur lesquelles se superposent parfois les déflexions correspondant au potentiel microphonique.

Il est aujourd'hui possible d'enregistrer ce potentiel d'action chez l'homme, en plaçant une électrode dans la cavité de l'oreille moyenne en contact avec la paroi osseuse de la cochlée (en pénétrant à travers le tympan). Les potentiels enregistrés sont tout de même assez faibles, du même ordre de grandeur que le bruit de fond des amplificateurs. En utilisant la technique dite du « moyennage » qui consiste à additionner, dans

un petit calculateur à mémoire, les réponses d'un grand nombre de stimulations, on peut éliminer le bruit de fond et additionner les réponses du nerf jusqu'à obtenir une amplitude suffisante. Cette méthode permet d'obtenir un assez grand nombre d'informations sur l'état fonctionnel du nerf auditif des sujets présentant des troubles de l'audition.

L'exploration de l'activité unitaire de chaque fibre du nerf auditif, au moyen de microélectrodes, constitue une autre approche très importante pour comprendre le mécanisme de l'audition. Ce type d'enregistrement pose un assez grand nombre de problèmes techniques qui ont été cependant surmontés ces dernières années. En général, on utilise des microélectrodes constituées de fines pipettes remplies d'une solution de chlorure de potassium, dont la pointe a un diamètre voisin de 1 micron.

Les potentiels d'action que l'on recueille ainsi ne sont pas très différents de ceux que l'on peut enregistrer dans n'importe quelle autre fibre nerveuse. Une des caractéristiques importantes de ces réponses est qu'elles reflètent l'analyse des fréquences réalisée par la membrane basilaire. Chaque fibre possède une courbe de réponse caractéristique de l'emplacement de son origine dans la cochlée. On remarque, toutefois, que la sélectivité paraît encore plus grande que celle mesurée au niveau de la membrane basilaire.

D'après le britannique Evans, un mécanisme particulier, dit de « deuxième filtre » et dont la nature n'est pas précisée, interviendrait pour accroître la sélectivité. Pour d'autres auteurs, la sélectivité du filtrage mécanique serait suffisante, si l'on tient compte d'une certaine non-linéarité des vibrations, pour expliquer les courbes de réponse des fibres.

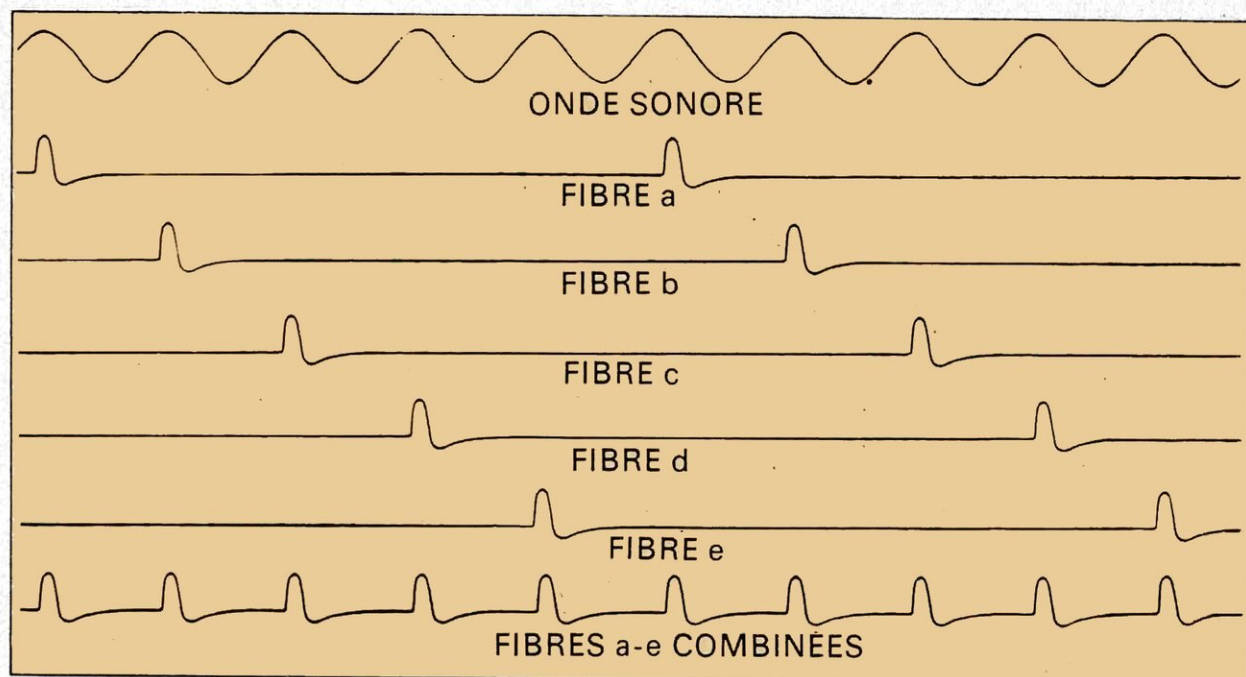
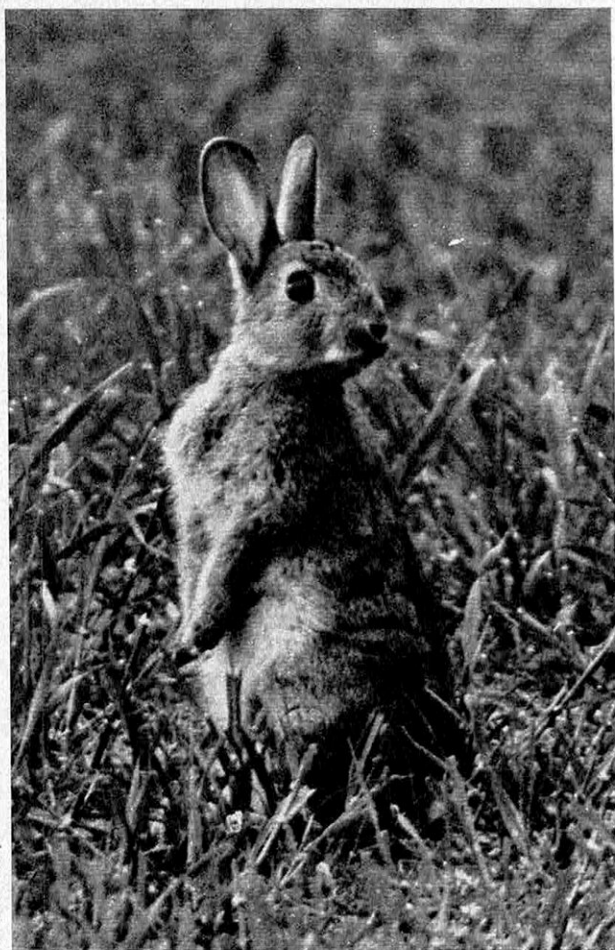


Schéma montrant le principe de la synchronisation des influx nerveux du nerf auditif avec la fréquence du son. Grâce au fonctionnement alterné d'un

ensemble de plusieurs fibres, des fréquences assez élevées peuvent être représentées par la cadence des influx. D'après Wever.



Une autre propriété des potentiels d'action des fibres du nerf auditif est d'être **synchronisés** avec la fréquence du son. Cette synchronisation n'existe en fait que pour les fréquences assez basses. Grâce au fonctionnement alterné des fibres, des fréquences de l'ordre de 4 000 Hz peuvent être représentées dans la cadence des influx.

Voies et centres auditifs

Les influx qui ont parcouru le très court trajet constitué par les fibres du nerf auditif aboutissent à des noyaux nerveux situés au niveau du bulbe rachidien, les noyaux cochléaires.

En pénétrant dans le noyau cochléaire, les fibres du nerf auditif se divisent en deux branches, l'une antérieure ou ventrale, l'autre postérieure ou dorsale. Ces fibres établissent des synapses avec un grand nombre de cellules. Après ce relais synaptique, les neurones du noyau cochléaire émettent d'autres influx qui vont parcourir des fibres remontant vers des centres, comme les tubercules quadrijumeaux postérieurs et les corps genouillés externes, pour aboutir au cortex. Une grande partie des fibres croisent l'axe nerveux à un niveau quelconque, de sorte que, finalement, le cortex reçoit des fibres provenant des deux oreilles à la fois.

Le détail des trajets des différentes fibres et

de leurs connexions dans les centres n'est pas encore parfaitement connu. Un très grand nombre de données ont néanmoins été obtenues ces dernières années en combinant les résultats des études histologiques et des explorations électrophysiologiques au moyen de microélectrodes. On a pu vérifier que chaque neurone répond à une bande étroite de fréquences qui est le reflet de l'analyse réalisée au niveau cochléaire. Dans de nombreux centres, on a mis en évidence un agencement systématique des neurones ou des fibres selon la bande de fréquences à laquelle ils répondent. On retrouve donc encore une localisation, ou **tonotopie**, analogue à celle qui existe dans la cochlée. Par contre, après chaque relais, les rapports entre les influx présynaptiques et postsynaptiques deviennent moins précis.

Ces dernières années, on a mis en évidence de nombreuses interconnexions entre les divers neurones des voies auditives. Ces interconnexions peuvent se faire, par exemple, entre des fibres provenant des deux oreilles, ce qui explique certains aspects de l'audition binaurale. D'autres interconnexions sont réalisées par des fibres à direction centrifuge (efférentes) qui assurent un contrôle des neurones périphériques par des neurones centraux. On peut notamment signaler le faisceau olivo-cochléaire de Rasmussen, qui relie des noyaux de la région olivaire (située dans le bulbe) aux cellules ciliées de la cochlée. Ses fibres semblent jouer un rôle inhibiteur sur le récepteur.

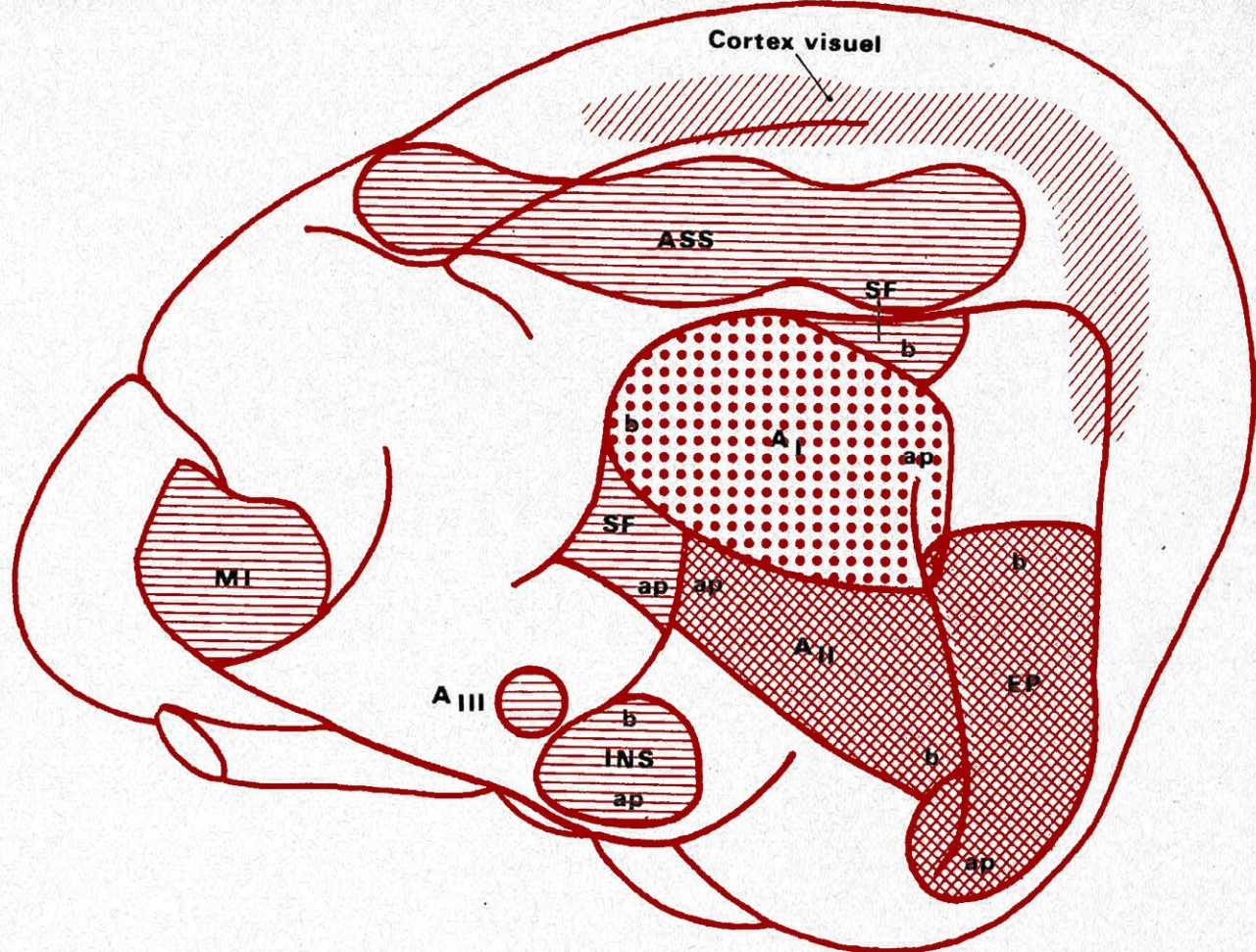
Au niveau du cortex, les fibres auditives se projettent dans la zone temporale. L'exploration des zones de projection auditive fait actuellement l'objet de nombreuses investigations, aussi bien sur le plan anatomique que sur le plan électrophysiologique. Elles sont surtout bien connues chez des animaux de laboratoire tels que le chat, et, naturellement, un peu moins bien chez l'homme.

On distingue une zone de projection dite A_I qui reçoit des fibres directes (primaires) provenant des corps genouillés, une zone A_{II} qui reçoit à la fois des projections primaires (directes) et secondaires (indirectes). On a décrit également des zones A_{III} et A_{IV} qui sont des zones dites associatives, pouvant recevoir des influx visuels, auditifs ou d'autres modalités sensorielles. Il s'agirait plutôt de zones « gnosiques », où s'élabore l'interprétation intellectuelle de la sensation.

Parmi les caractéristiques de ces zones, on peut signaler la tonotopie, qui est assez nette dans la zone A_I et dans la zone A_{II} .

Le traitement de l'information

Si on arrive à comprendre sans trop de difficultés le système de codage des informations auditives dans la cadence ou la localisation des influx qui parcourent les voies auditives, il est plus difficile de comprendre comment ces informations sont utilisées dans les centres supérieurs pour aboutir à des phénomènes de reconnais-



Vue latérale du cortex du chat avec indication des zones de projection auditive. A_I, zone de projection primaire ; A_{II} et EP (ectosylvienne postérieure) zones de projection secondaires. Les autres

zones, A_{III}, Insula, MI, etc..., sont considérées comme des zones associatives. Sur chaque zone, les projections de la base de la cochlée (b) et du sommet (ap) sont indiquées.

sance ou de décision. A la lumière de recherches récentes, on peut entrevoir un certain nombre d'éléments du problème.

Ainsi, dans les centres, on a mis en évidence des neurones qui sont spécialisés dans la reconnaissance d'un aspect particulier du stimulus. Certains neurones répondent uniquement à une variation de fréquence et ne répondent pas pour une fréquence fixe. Ces cellules peuvent être sensibles à une augmentation ou à une diminution de la fréquence, mais pas aux deux à la fois. D'autres neurones paraissent répondre spécifiquement à des bruits complexes et non à des fréquences pures. D'autres encore répondent à des sons brefs et non à des sons continus...

Pour expliquer ce genre de sensibilité spécifique, les mécanismes de l'analyse cochléaire et de la transmission nerveuse ne sont pas suffisants. Il faut admettre que ce sont les connexions entre différents neurones qui déterminent cette spécificité. On a pu vérifier que, dans les centres auditifs, l'organisation synaptique est complexe et que la surface de chaque neurone est en contact avec de nombreuses terminaisons provenant d'autres neurones.

L'emplacement des contacts synaptiques sur

un neurone donné déterminerait sa spécificité. On a pu réaliser au moyen de composants électroniques, des modèles analogiques qui peuvent simuler la sensibilité aux variations de fréquences ou à d'autres caractéristiques des sons.

Cette spécificité cellulaire se rapproche de celle qui a été mise en évidence dans certains neurones du système visuel.

Sur le plan psychologique, on peut envisager que la reconnaissance des sons ne résulte pas seulement d'une analyse des fréquences, mais que certains aspects tels que la variation de fréquence, la variation d'intensité et le déroulement dans le temps, peuvent être connus grâce à des mécanismes particuliers. Ces différents mécanismes aboutiraient à l'élaboration d'une image sonore où chaque aspect du son aurait son importance, de même que la reconnaissance d'un objet fait intervenir à la fois sa forme, ses dimensions et sa couleur. Ces différentes données permettent de concevoir de quelle manière peuvent être perçus les sons du langage, ou d'autres comme les sons musicaux, auxquels nous attribuons une certaine signification.

Jean-Paul LEGOUIX

AUDIOMÉTRIE 76

*Des méthodes modernes,
où l'informatique
tient une place
très importante,
sont aujourd'hui utilisées
pour la mesure des atteintes
de l'appareil auditif.
Dans le même temps,
les audiologistes
se penchent sur les moyens
d'assurer la protection
des personnes
les plus exposées au bruit.*

● Parallèlement au développement industriel extraordinaire qui est une des marques de notre époque, se sont accrues les pollutions de tous genres. Parmi celles-ci, le bruit semble prendre une place sans cesse plus importante. Le retentissement sur l'organisme de ce type de pollution est cependant encore mal connu, d'où l'intérêt suscité actuellement par les recherches concernant l'audition, ses atteintes et leur prévention.

La mesure de l'audition est couramment réalisée au moyen d'audiogrammes — représentation des seuils d'audition d'un sujet en fonction de la fréquence de sons — dont l'obtention ne demande que quelques dizaines de minutes. Les données ainsi obtenues sont riches d'enseignements. Il est cependant des cas où la réalisation de cet examen est impossible, du fait par exemple de l'absence de coopération du sujet. Il en est ainsi chez le nourrisson.

L'audiométrie « objective » est née de cette impossibilité. Elle est à l'heure actuelle l'objet de nombreuses recherches, car ses résultats, bien que remarquables, sont encore incomplets.

L'audiométrie objective

Deux méthodes s'associent pour mieux cerner le problème :

- l'enregistrement des « potentiels évoqués » auditifs ;
- l'électrocochléographie.

La première utilise le tracé électroencéphalographique. Lors de la perception d'un son, il se produit au sein de ce tracé une variation de potentiel. Cette variation est d'amplitude extrêmement réduite (quelques dizaines de μV au plus) et apparaît avec une latence relativement constante. Du fait de sa petitesse parmi les ondes cérébrales bien plus amples, elle n'est habituellement pas visible sur le tracé. Ceci se traduit en disant que le signal (variation de potentiel recherchée) est noyé dans le bruit de fond (tracé électroencéphalographique) qui le masque.

Les progrès de l'informatique permettent maintenant d'« extraire » le signal intéressant en traitant les données brutes dans des calculateurs particuliers (dits « moyenneurs de transitoires »). Ceux-ci, par des techniques de sommation, vont obtenir une réduction progressive du bruit de fond alors que le signal recherché, au contraire, se précise.

L'application pratique de cette méthode est plus ardue qu'il n'y paraît, notamment chez le nourrisson où de nombreux artéfacts (d'origine musculaire en particulier) viennent considérablement perturber les tracés. Si l'on élimine ce « myogramme » en endormant l'enfant, d'autres problèmes se posent, tel le niveau d'endormissement. En fonction du stade du sommeil, en effet, surviennent des modifications de la réponse évoquée au niveau cérébral.

Des recherches sont actuellement en cours pour tenter de pallier ces inconvénients ; il s'agit essentiellement de travaux portant sur l'informatique. Aux moyenneurs de transitoires initiaux, tendent ainsi à se substituer des calculateurs plus puissants, avec des programmes plus évolués.

La méthode que nous venons d'évoquer peut



Jean Marquis.

Etude sous narcose des potentiels évoqués auditifs à l'aide d'électrodes fixées sur le front.

être qualifiée de « globale ». Elle interroge en bloc une grande partie des voies auditives, par l'intermédiaire d'un système placé sur le versant terminal, cérébral, de l'appareil auditif.

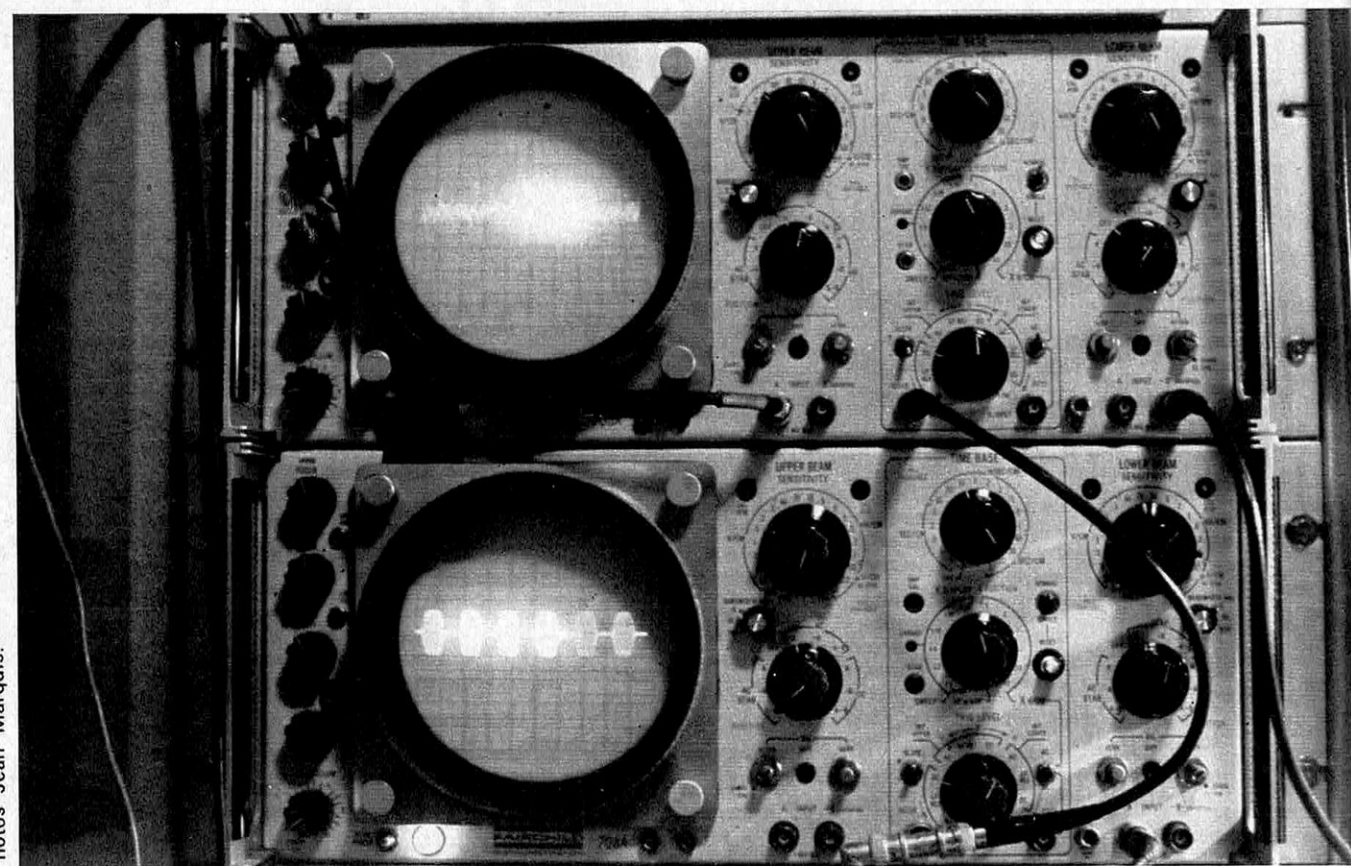
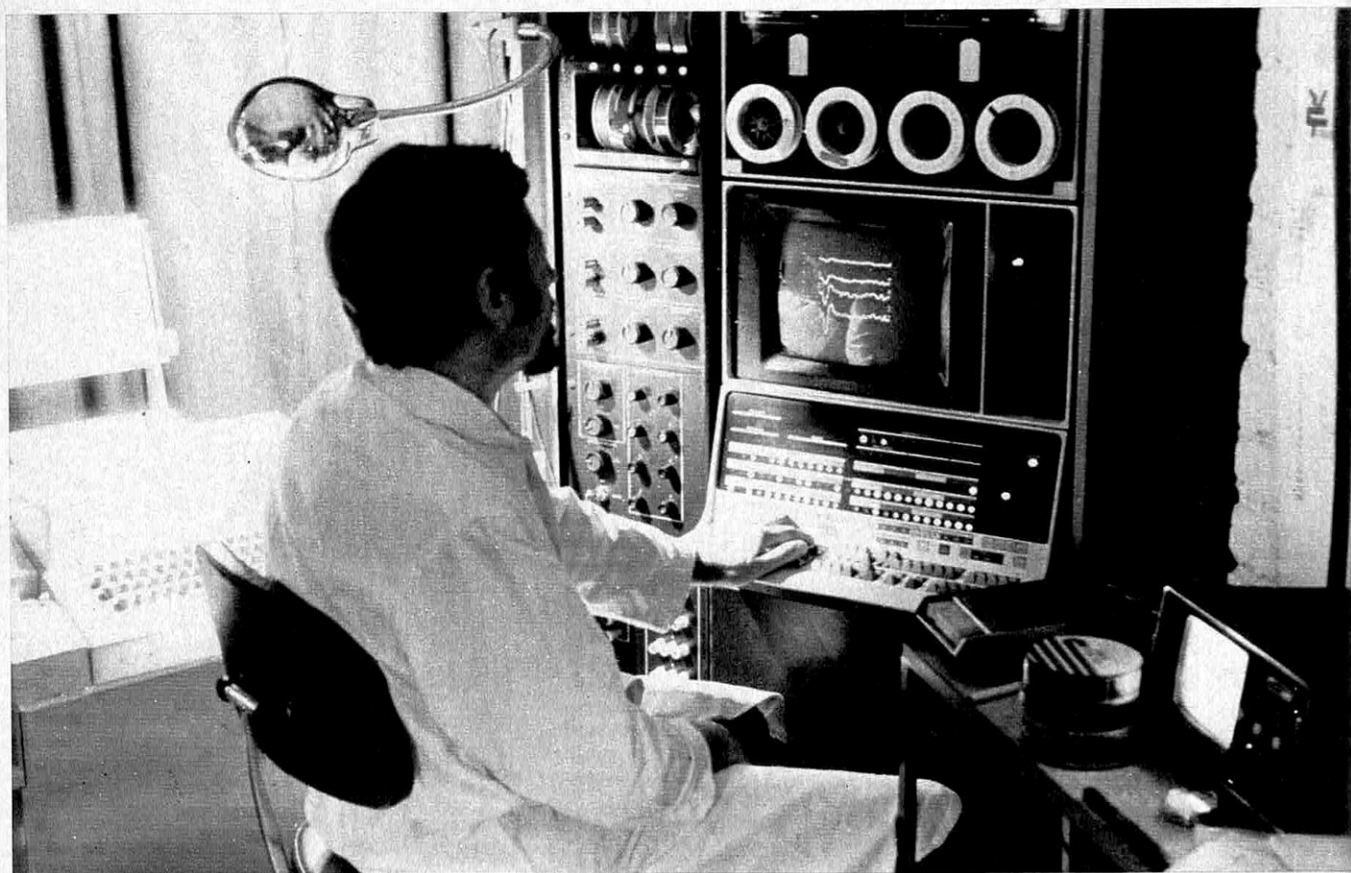
Il en est une autre qui, au contraire, explore la partie initiale du système auditif : c'est l'électrocochléographie. Elle consiste à enregistrer, à l'aide d'électrodes, des variations de potentiel qui prennent naissance dans l'oreille interne ⁽¹⁾ et déterminent l'apparition de variations de potentiels (potentiels d'action) dans les fibres du nerf auditif. En pratique clinique, ce sont ces potentiels d'action ⁽²⁾ qui sont retenus pour apprécier l'état auditif du sujet, au niveau périphérique.

Ici encore, bien des problèmes restent posés et de très nombreuses recherches sont en cours en

France et à l'étranger.

Etant donnée la très faible amplitude des variations de potentiel étudiées, il importe d'abord d'utiliser, comme précédemment, des moyens informatiques modernes ; il faut, en outre, s'approcher le plus possible de leur source, c'est-à-dire de la cochlée. Dans la pratique, l'électrode « active » est placée contre la paroi externe de l'oreille interne, au niveau de la fenêtre ronde. Pour cela, elle doit traverser le tympan. Ceci rend indispensable l'immobilité du sujet et donc, chez le nourrisson, une anesthésie générale.

(1) Potentiel microphonique cochléaire essentiellement.
(2) Potentiel d'action global du premier neurone.



Photos Jean Marquis.

L'audiométrie « objective », qui n'implique pas une participation consciente du sujet, enregistre les influx nerveux au niveau des voies auditives ou les potentiels évoqués qui en résultent au niveau cérébral. En haut de page, visualisation du traite-

ment d'un potentiel évoqué auditif sur l'écran cathodique de l'ordinateur. En bas de page, contrôle du tracé d'un cochléogramme par voie externe chez le cobaye. Le tracé inférieur est un exemple de stimulation électrique.

Contrairement à ce qui se passait lors de l'enregistrement des potentiels évoqués auditifs, l'examen impose donc des contraintes non négligeables. En contrepartie, la fiabilité de l'électrocochléographie est beaucoup plus grande et les tentatives d'amélioration de la méthode sont nombreuses. C'est notamment sur la mise en place de l'électrode active que portent les travaux.

Différents sites ont été étudiés : mastoïde, lobe de l'oreille, conduit auditif externe dans ses différents segments (en particulier son extrémité interne)... Les résultats de ces tentatives sont variables, parfois encourageants, mais en tout cas moins bons que ceux obtenus à partir de l'électrode transtympanique.

Un inconvénient de l'électrocochléographie est que, pour des raisons électrophysiologiques, les enregistrements obtenus ne reflètent les phénomènes qu'au niveau d'une partie de la cochlée, celle qui, schématiquement, correspond aux sons aigus. Ceci limite la valeur pratique de l'examen puisque les fréquences « conversationnelles » sont en partie exclues du bilan. Des recherches sont en cours pour résoudre ce problème, mais la solution n'est pas encore en vue.

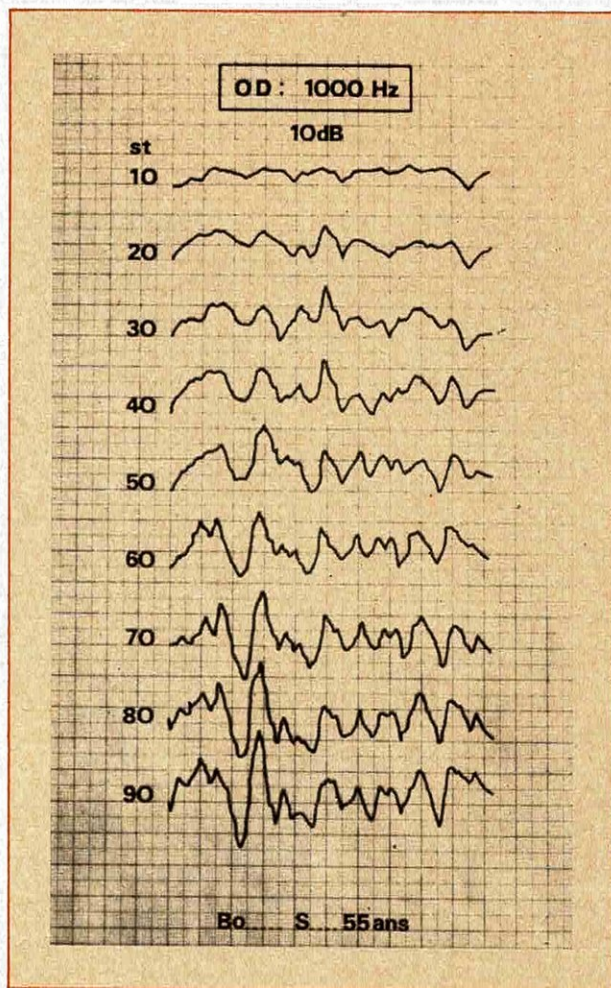
Un doseur de bruit miniaturisé ?

A côté de ces travaux qui concernent surtout la mesure de l'audition, mais qui en même temps étudient le fonctionnement de l'appareil auditif, se situent d'autres études plus particulièrement liées au problème du bruit. Un exemple est celui de la dosimétrie.

L'idée directrice est que chaque sujet exposé au bruit de façon suffisamment intense ou (et) prolongée puisse porter un équipement électronique miniaturisé capable d'enregistrer la « quantité » de bruit qu'il reçoit. C'est en fait une transposition de ce qui se passe pour les sujets exposés à la radioactivité. Ces derniers sont munis de plaques sensibles qui, lorsqu'elles ont reçu une certaine dose de radiation, « avertissent » qu'une exposition plus prolongée deviendrait dangereuse.

Pour le bruit, le problème est difficile à résoudre : si, sur le plan de l'électronique et de la miniaturisation, il est possible de construire des dosimètres qui fonctionnent, leur utilisation pratique chez l'homme est délicate. Le tout est de savoir quels sont les paramètres à retenir et quel « coefficient de nocivité » il faut leur attribuer. Schématiquement, on sait bien, par exemple, que, plus le niveau acoustique est élevé, plus grand est le risque. Et l'on sait aussi que les fréquences élevées sont, dans l'ensemble, plus traumatisantes. Mais comment chiffrer ces effets ou comment évaluer la nocivité d'un bruit impulsionnel qui semble plus importante que celle d'un bruit à établissement progressif de même énergie ?

Bien d'autres paramètres interviennent, qu'il est difficile de quantifier, d'autant plus que la



Mise en évidence progressive d'un potentiel évoqué auditif par sommation des réponses. Après 10, 20... 90 sommations, le potentiel recherché se détache (durée des tracés : 1 seconde).

susceptibilité individuelle est des plus variables. Alors que tel sujet va rapidement présenter des lésions cochléaires irréversibles, tel autre, exposé à une agression identique, gardera longtemps une cochlée intacte...

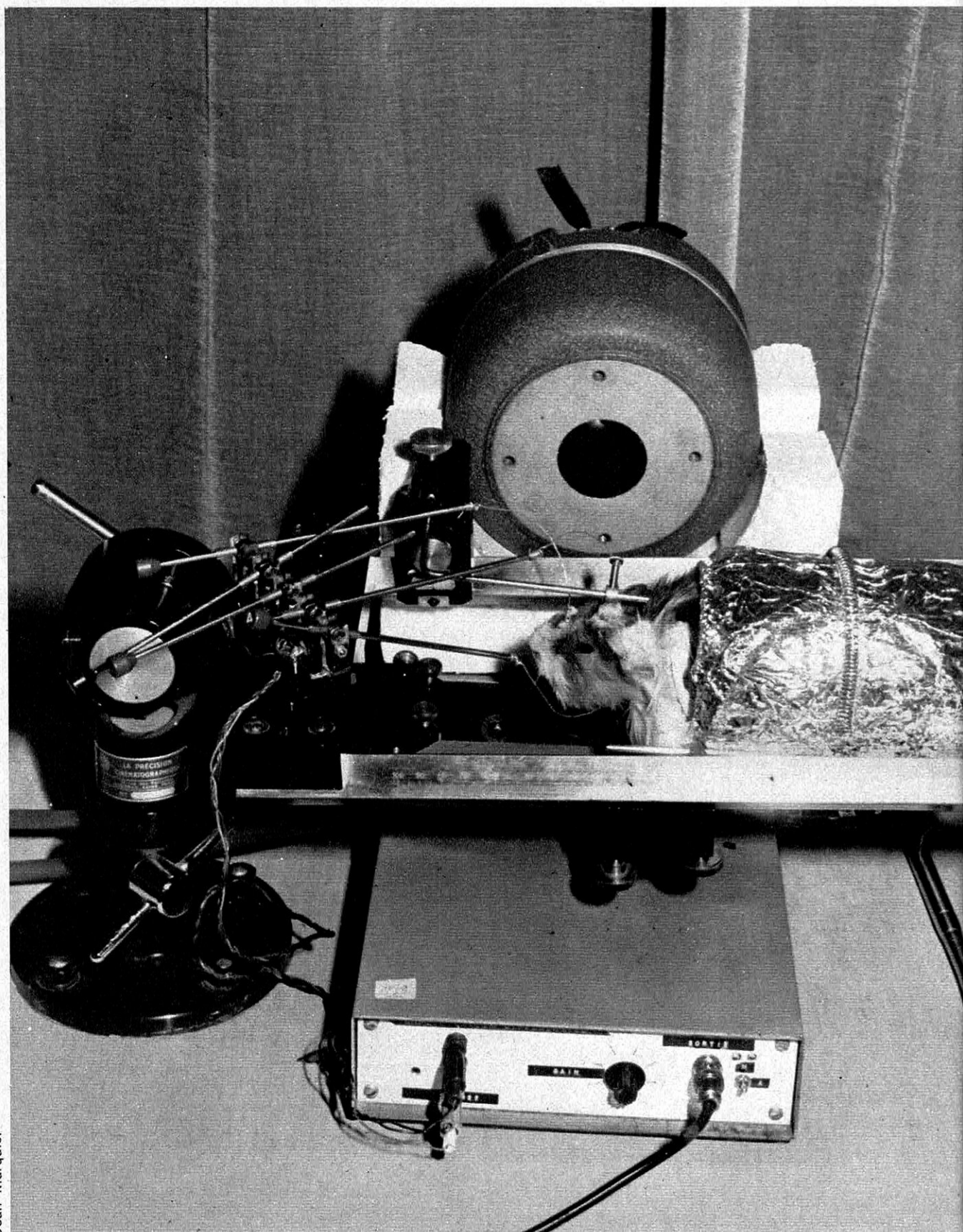
D'autre part, s'il est possible chez l'homme d'exposer des sujets volontaires à des bruits de niveaux peu élevés (donc non traumatisants), il n'est pas question d'aller plus loin. On doit pour cela recourir à l'animal. Avec toutes les réserves que posent une extrapolation à l'homme.

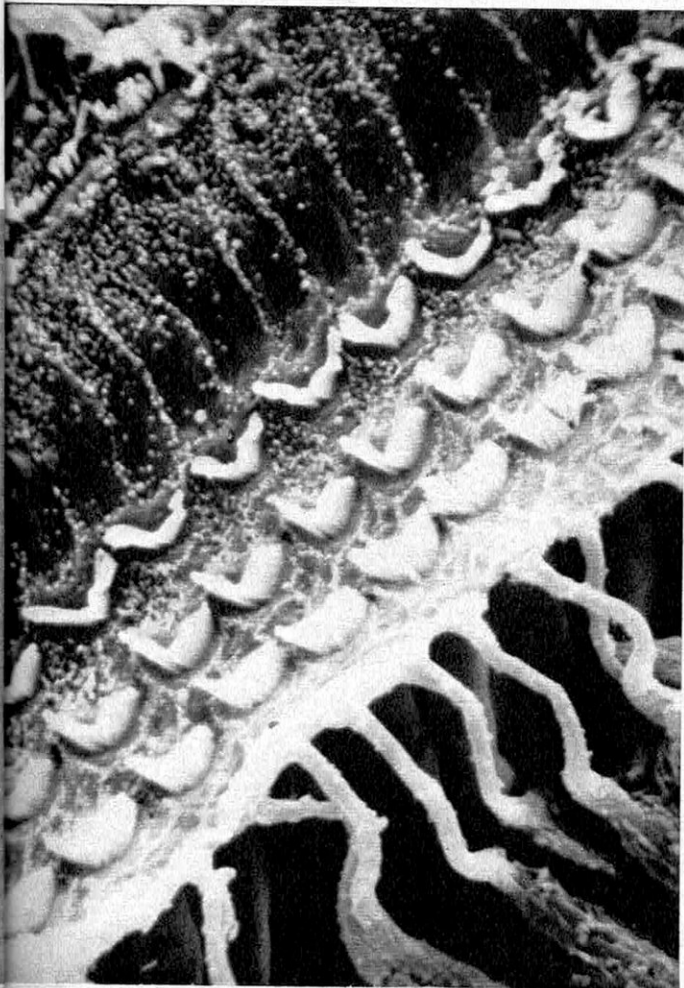
Des animaux exposés à des bruits intenses sont par exemple testés sur le plan électrophysiologique avant et après stimulation. Celle-ci peut être répétée durant des jours, voire des mois : l'utilisation d'une méthode d'électrocochléographie externe non traumatisante a rendu possible de telles expérimentations⁽³⁾.

En fin d'exposition, alors que les résultats électrophysiologiques sont enregistrés, on peut sacrifier l'animal dans un but de contrôle histopathologique. La cochlée est alors examinée dans

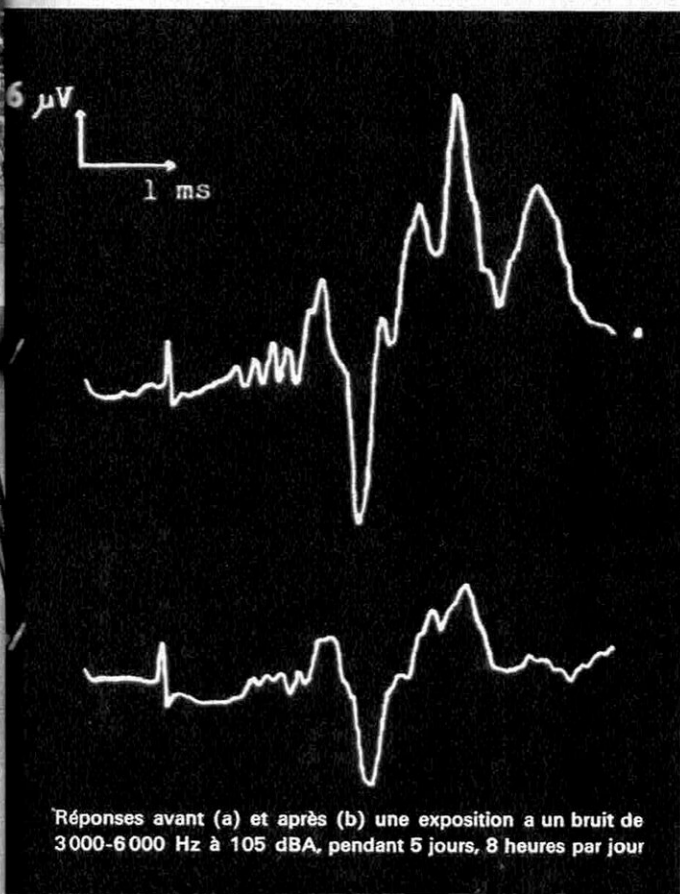
(3) Electrocochléogramme par voie externe chez le cobaye M. Burgeat, D. Loth, Y. Grall, C. Menguy, P. Massard. Annales de physique Biologique et Médicale, Vol. 8 n° 2.

L'électrocochléographie par voie externe permet, sur l'animal, de mesurer par exemple les effets de bruits intenses et prolongés sur le fonctionnement de l'appareil auditif. Ces mesures peuvent être complétées d'une étude anatomique de la cochlée de l'animal sacrifié. En page de droite en haut, vue au microscope électronique à balayage d'une partie de la cochlée (premier tour de spire basal) d'un cobaye après trauma acoustique. Les cellules ciliées internes, en haut à gauche, ont été lésées. En bas de page, modification des phénomènes électrophysiologiques (potentiel microphonique, potentiel d'action global du premier neurone, etc.) au niveau de la cochlée de cobaye dans les conditions indiquées en bas.





Tran Ba Huy et Ohresser-Lab. du Prof. Chevreau.



Réponses avant (a) et après (b) une exposition à un bruit de 3000-6000 Hz à 105 dBA, pendant 5 jours, 8 heures par jour

le détail, ce qui permet une localisation précise des lésions ainsi que l'appréciation de leurs caractéristiques (lésions d'origine mécanique, métabolique...). L'utilisation de la microscopie électronique et du microscope à balayage accroît de façon extraordinaire la richesse des enseignements que l'on peut tirer de telles expériences.

On peut espérer que, grâce à tous ces moyens, il sera possible de rendre les dosimètres véritablement opérationnels. On pourra alors connaître à tout instant, non pas tellement la quantité de bruit reçu par un individu donné, que la quantité d'éléments nocifs qui l'atteignent à l'occasion de son exposition au bruit.

Dans le cadre de ces travaux, la recherche « fondamentale » n'est pas oubliée ; elle est absolument primordiale pour atteindre à une meilleure connaissance du fonctionnement de l'appareil auditif, fonctionnement qui, rappelons-le, est très incomplètement connu à l'heure actuelle. Parmi d'autres, nous citerons les travaux relatifs au contrôle « cybernétique » des structures centrales sur l'appareil périphérique (fibres éfférentes) ; ou encore les recherches portant sur l'hystérésis cochléaire, problème qui paraît intéresser un nombre de chercheurs sans cesse croissant.

On sait que l'oreille fonctionne, au moins en partie, comme un microphone ; le potentiel microphonique cochléaire reproduit exactement le son qui lui a donné naissance. Ceci est vrai sauf dans le cas où on expose une oreille à des sons successifs, de niveau acoustique (suffisamment important) croissant, puis décroissant. Dans ces conditions, le potentiel microphonique cochléaire recueilli reproduira fidèlement les sons-test produits lors de la phase « ascendante » ; par contre, et sous certaines conditions, il n'en sera pas de même lors de la phase de diminution de l'intensité. Ce phénomène a été appelé « hystérésis cochléaire » par analogie avec l'hystérésis magnétique (la rémanence de l'aimantation d'un corps métallique lorsqu'on diminue l'intensité du champ auquel il est soumis).

Les modalités d'apparition de cet hystérésis, son origine même (métabolique, mécanique...) sont incertaines, et il est important de chercher à en comprendre le mécanisme pour progresser dans nos connaissances de la biophysique cochléaire.

*
**

Nous n'avons cité dans ce bref article que quelques thèmes de recherche assez représentatifs, nous le pensons tout au moins, des nombreux domaines qu'englobe le monde de l'audition. Il en est d'autres, bien sûr, à commencer par la chirurgie, qui s'intéresse à la réparation de certaines surdités. Mais tous ces domaines sont étroitement solidaires. Les progrès de l'un induisent ceux de l'autre, d'où l'importance d'une très étroite collaboration entre les différents chercheurs concernés par ces problèmes.

Drystan LOTH

LE BRUIT ET L'ISOLATION



On a pu dire que, de tous nos sens, l'audition était celui dont les appréciations étaient le plus fortement modulées par l'affectivité. C'est bien dans le domaine

du bruit, de la lutte contre ce fléau de la société moderne, que cette affirmation prend tout son sens. Car on ne saurait mieux définir un bruit que comme un son « désagréable ». Ce caractère



Roger Viollet.

subjectif et circonstanciel de la notion de bruit est pour beaucoup dans la difficulté qu'on rencontre dès qu'il s'agit d'établir une réglementation. Mais il en est beaucoup d'autres.

Le bruit doit-il être considéré comme une pollution, lorsqu'il dépasse un certain « niveau » dit (ou prétendu) dangereux ?

Ce n'est pas, ce n'est plus tellement évident.

Tout dépend du point de vue que l'on adopte : pour les commissions désignées par le pouvoir en vue de préparer une « réglementation contre le bruit » et proposer, le cas échéant, des mesures pratiques, il est essentiellement technique. Comment classer les bruits ? comment les mesurer ? comment les suivre dans les méandres de leur propagation ? où et comment les arrêter, ou tout au moins les affaiblir ?

A toutes ces questions, nous allons le voir, il n'est pas facile de répondre clairement. Et ce d'autant moins que l'aspect technique (déjà peu accessible par lui-même) n'est qu'un élément, et pas toujours le plus important, d'un problème infiniment plus complexe.

Les premières difficultés qu'on rencontre portent sur la définition même du bruit.

Qu'est-ce qu'un bruit ?

Une seule réponse valable : un bruit est un son gênant. Pour l'être humain, les sons se divisent en trois grandes catégories, que l'on pourrait penser exhaustives : les sons qu'on a plaisir à écouter (on dit les sons désirés) ; les sons dont l'écoute est désagréable (les sons gênants) ; les sons (ce sont les plus nombreux) qui ne touchent guère l'affectivité, soit qu'ils apportent une information de caractère objectif (le frigidaire s'est remis en route ; au quatrième top, il sera six heures...), soit qu'ils se noient dans ce qu'on appelle le fond sonore (ces bruits d'ambiance dont le niveau est toujours bien plus élevé qu'on ne croit).

Division exhaustive ? Sans doute. Mais, selon la personne, et, pour une même personne, selon l'instant, la même sonorité pourra être classée dans l'un ou l'autre groupe. Première confusion possible.

Il n'y aurait que demi-mal si les divergences portaient sur un nombre restreint de cas, qui pourraient ainsi être considérés comme des cas limites. Il serait alors possible de placer (difficilement peut-être, mais n'est-ce pas le rôle des commissions d'études ?), d'une part, des bornes inférieures, en deçà desquelles le son serait considéré comme « désiré » ; d'autre part, des bornes supérieures, au delà desquelles il apparaîtrait, au moins à une forte majorité statistique, comme « gênant ».

Un tel classement n'aurait de signification que si les premières se trouvaient nettement séparées des secondes, la zone placée entre les deux, même si elle possédait une certaine élasticité, ne pouvant être que le *no man's land* des sons indifférents, jouant un rôle de tampon.

Malheureusement, sauf exception, le problème ne se pose pas ainsi : les appréciations données

sur un son sont généralement bien tranchées et le passage de l'agréable au désagréable se fait brutalement, sans transition. Bornes inférieures et bornes supérieures sont donc proches les unes des autres. Si proches même que, les conditions d'environnement (dont le rôle sur l'appréciation est souvent déterminant) aidant, on ne peut éviter des inversions et des chevauchements.

Jouent ainsi, pour l'environnement physique, les conditions extérieures d'écoute, la qualité des sources sonores et du lieu d'audition, les caractéristiques (ou l'absence) de bruit de fond, etc. Pour l'environnement psychique, l'état de réceptivité et d'affectivité personnelles à un instant donné, les goûts, les préférences du sujet, son dynamisme ou sa passivité... L'environnement sociologique intervient par l'état de conditionnement de l'auditeur, dû à son appartenance à une culture, à un métier, à une secte, à un groupement circonstanciel...

Le relevé statistique des appréciations donne au total des résultats assez incohérents qui expliquent la perplexité des techniciens chargés de préparer une réglementation anti-bruit, les hésitations des pouvoirs publics, le comportement souvent ambigu des autorités chargées de la faire appliquer.

Le bruit comme argument commercial ?

La mise en parallèle de deux exemples, très différents, permettra de toucher du doigt d'autres raisons qui expliquent ce malaise général.

Le musicien (le pianiste par exemple) qui répète cent fois la même mesure pour arriver à la jouer parfaitement y trouve un évident intérêt ; mais, dans le même temps, il horripile ses voisins, même s'ils sont mélomanes.

Certains apprentis motocyclistes éprouvent, de leur côté, une jouissance suraigüe à faire pétarder leurs engins à longueur de journée — et parfois de nuit ! Infortunés voisins, comment leur en vouloir si, après des semaines de torture, leurs nerfs à bout les poussent à commettre (parfois) des actes regrettables ?

Mais il y a plus. Si les luthiers ont su mettre au point des instruments « silencieux » permettant aux musiciens, qui s'en accommodent généralement bien, de s'entraîner discrètement, la situation est toute différente pour les deux roues à moteur. Une telle machine ne paraît présenter d'intérêt à certains utilisateurs que si elle est bruyante.

Or, comme le faisait remarquer, au cours d'une émission radio, le responsable d'un service de contrôle répondant à des critiques portant sur l'introduction de colorants dans les bonbons : « la couleur est un atout commercial de première importance ; c'est elle qui tente le jeune client ; est-il possible de supprimer cet argument de vente, en remettant en cause l'addition d'un produit dont on n'est même pas sûr qu'il soit nocif ? » Remarquons que cet argument a laissé ses interlocuteurs sans voix.



Symbole de puissance et d'autonomie auprès de nom

Il suffit de transposer aux motos le même raisonnement. Si les constructeurs n'osent pas encore indiquer sur leurs affiches publicitaires : « bruit garanti supérieur à cent décibels », tout le contexte de leurs annonces est orienté non vers l'intérêt pratique de l'engin qu'ils fabriquent, mais vers le symbole de puissance qu'il représente aux yeux d'une clientèle non négligeable. Et le niveau sonore entre souvent pour beaucoup dans cette symbolique. D'autres formules (assurément moins « excitantes ») ne pourraient-elles être trouvées ? Qu'on se rappelle l'affiche sur « le klaxon qui balaie la route », laquelle choquerait tout le monde aujourd'hui.



Virgili Gilles.

breux jeunes, la moto est aussi une machine à produire des décibels trop connue dans certains quartiers.

Certes, la presse et certains autres secteurs d'information partent en guerre contre les « abus », mais ils attendent généralement que ceux-ci soient vraiment spectaculaires. C'est qu'ils risquent en général de se heurter à une argumentation tissée de mots ravageurs : diminution d'activité, licenciements, pertes à l'exportation, atteinte aux vertus du régime libéral...

Est-ce donc qu'il faut faire la part du feu, en acceptant que la pollution et ses victimes, sacrifiées sur l'autel du progrès, constituent la monnaie d'échange indispensable au développement d'un pays, avec toutes ses contre-parties souriantes pour la collectivité ? On peut en douter. Les

tenants, encore bien rares, de la « croissance zéro » pensent qu'une modération du développement économique permettra aux pouvoirs publics d'être à la fois plus sévères et plus vigilants dans la lutte anti-pollution. Certains pays comme le Japon, qui ont payé un tribut particulièrement lourd à l'expansion, pourraient montrer l'exemple.

Le travail des commissions de réglementation prendrait alors tout son sens. Dans l'état actuel des choses, le sérieux qu'y apportent ses membres est teinté d'un scepticisme certain : les règles suggérées par une étude minutieuse seront-elles prises en considération et, s'il leur arrive de l'être,

seront-elles appliquées ? Chacun a cependant conscience de ce que la mise au point de textes pratiques et valables n'est pas une œuvre inutile. Ils constitueront la première infrastructure d'un barrage, dont on peut espérer, les abus aidant (hélas !), qu'il se renforcera peu à peu.

Où en sommes-nous donc, aujourd'hui, dans le domaine de la lutte contre le bruit ?

Un classement subjectif

Le premier problème qui se pose est de savoir comment classer les bruits. Si on se réfère à la définition de *son gênant* que nous en avons donné, un classement subjectif semblerait logique. Cela reviendrait à classer les bruits d'après leur action sur le système nerveux.

On pourrait ainsi distinguer les bruits stridents, les bruits sourds, les ronflements, les bruits musicaux, les bruits répétitifs à cadence lente ou rapide, les bruits impulsifs, les chocs, etc.

A chacun d'entre eux, on pourrait faire correspondre certaines caractéristiques physiques, telles que intensité, hauteur moyenne, importance relative des graves et des aigus, cadences de répétition, soudaineté d'apparition, durée, rapidité d'évolution... On en étudierait les effets (statistiquement) sur le système nerveux.

A ma connaissance, une tel classement n'a pas été entrepris : est-ce parce que le nombre de variables a paru trop grand ? est-ce parce qu'on s'est aperçu que des données synthétiques seraient trop difficiles à dégager ? est-ce tout simplement parce qu'il existe d'autres voies peut-être moins rigoureuses, mais d'application plus facile ?

Ces autres méthodes tiennent compte d'ailleurs, bien qu'assez discrètement, de certains facteurs subjectifs, ceux notamment qui résultent d'un grand principe fondamental. L'oreille fonctionne, à l'état normal, dans une certaine ambiance sonore plus ou moins fluctuante, qui est toujours loin d'être nulle et se présente comme le résultat statistique de la combinaison d'un grand nombre de bruits élémentaires aléatoires et à peu près impossibles à sélectionner individuellement. Non seulement elle n'en éprouve nulle gêne, mais on a pu constater (en utilisant des chambres sourdes) que l'absence ou la trop forte diminution de l'environnement sonore habituel provoque une sensation pénible (on pourrait presque dire d'étouffement).

Mais à part ce cas particulier (qui ne se présente pas dans la nature), l'effet de « pollution sonore » n'apparaît que :

— lorsque l'ambiance sonore atteint un niveau anormalement élevé, ce qui se produit, par exemple, au voisinage des autoroutes ou de certaines usines ou ateliers « bruyants » ;

— lorsqu'à l'ambiance se superpose une sonorité individualisée ou individualisable, d'un niveau suffisant pour émerger, au moins partiellement, de l'ambiance sonore. La gêne est nette

lorsque le bruit qui émerge faiblement est significatif — généralement parole ou musique — car l'auditeur troublé essaie, par instinct, de saisir son sens, ce qui met fortement à contribution le système nerveux.

Classer selon l'origine ?

On est conduit, par les considérations précédentes, à envisager un classement des bruits selon leur origine. On distinguerait alors :

● les sons perturbateurs dont l'origine peut être déterminée sans ambiguïté, qu'elle soit naturelle (bruits atmosphériques, cris et chants d'animaux, grondement d'un fleuve, cascade, etc.), ou artificielle, c'est-à-dire humaine (coups de feu, bruits de moteurs, sons produits par des haut-parleurs, cloches, sirènes, et, à la limite, la voix sous ses différentes formes) ;

● les sons perturbateurs d'origine indiscernable, qui n'apparaissent que comme les composants d'une sonorité globale ;

● entre ces deux groupes, s'en introduit un autre dont l'intérêt pratique est indéniable : celui des sons perturbateurs composés d'éléments d'origines multiples, mais de nature similaire ; on trouve là, entre autres, ceux provoqués par des véhicules motorisés, en ville comme sur route, quand ils se déplacent en bataillons compacts.

Les bruits de la première catégorie présentent l'inconvénient de ne pouvoir être attaqués à *leur source*. Il y en a trop et ils sont trop variés. Il n'en est pas de même des autres, qui peuvent l'être, à condition naturellement qu'on le veuille. Ces bruits présentent par contre une allure assez régulière qui permet aux techniciens de les définir avec rigueur en utilisant un nombre très restreint de critères physiques — ou plutôt biophysiques.

Le vieux classement « physique »

On retrouve ici les critères classiques, appris sur les bancs de l'Ecole et qui ne présentent malheureusement pas l'universalité qu'on pouvait espérer (intensité, hauteur, timbre, auxquels il faut ajouter la durée). Dans la lutte antipollution, le plus important est naturellement l'intensité, qu'il faut d'ailleurs étroitement coupler avec la durée.

On est amené à distinguer :

● Les bruits dont le niveau reste acceptable (mot vague qu'il faut bien employer à défaut d'autres), quelle qu'en soit la durée ;

● les bruits de niveaux plus élevés, susceptibles de provoquer des troubles de plus ou moins longue durée, et ce, d'autant plus que leur niveau est plus élevé et leur durée plus longue ;

● les bruits de niveaux très élevés, qualifiés de destructifs en raison des altérations irréversibles qu'ils font subir au système auditif et (ou) au système nerveux (troubles psychiques).



La présence d'un chantier, quelle qu'en soit la nature, n'est pas toujours synonyme de quiétude.

Un tel classement des sons serait incomplet si on ne faisait pas intervenir les caractéristiques de hauteur et de timbre. Pour ce dernier — qui n'est pas chiffrable, car c'est la résultante d'une multitude d'effets physiques plus ou moins mal connus —, nous nous contenterons de le signaler.

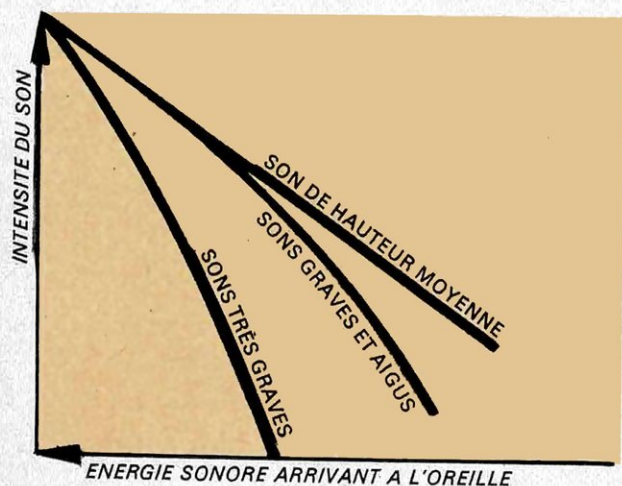
Pour la hauteur, des études nombreuses et approfondies ont été faites. Citons, parmi les résultats :

— aux niveaux élevés, quand l'énergie de l'onde sonore reste la même, l'effet d'intensité produit sur l'oreille est sensiblement le même à toutes les hauteurs ;

— lorsque le niveau décroît, les sons aigus et les sons graves, mais surtout les sons très graves, s'affaiblissent apparemment plus vite que les sons de hauteur moyenne. On en tire immédiatement la conclusion que les sons aigus, les sons graves et surtout les sons très graves sont beaucoup plus faciles à atténuer que les sons des fréquences moyennes.

De telles données doivent cependant être maniées avec précaution, car, aux fréquences suraiguës, on approche de la zone des ultrasons, assez rares heureusement dans la nature. Aux fréquences très graves, de même, on approche de la zone des infrasons, qui n'agissent plus sur le système nerveux par le canal de l'oreille, mais peuvent n'en être pas moins très gênants. Ils agissent sur le sens tactile et sont souvent émis sous forme de vibrations par les systèmes producteurs de son. On ne peut, dans les études sur la pollution phonique, les mettre complètement à l'écart.

Les travaux de laboratoire (Kryter, Stevens, Zwicker, etc.) qui se poursuivent activement, conduisent essentiellement à une meilleure connaissance du mécanisme de fonctionnement de l'oreille. Celle-ci n'a eu pour l'instant que de modestes répercussions sur les problèmes pratiques de protection contre le bruit.



A énergie égale, l'oreille est moins sensible aux graves et aigus et moins encore aux très graves.

Un classement empirique

Classement subjectif, classement selon l'origine des bruits, classement selon les propriétés physiques, lequel choisir ? Ni l'un, ni l'autre, notamment lorsqu'il est question de l'isolation phonique des bâtiments, ne peut être exclusivement retenu. Dans la pratique, on a recours à un classement empirique qui s'inspire à la fois des trois autres.

L'excellent ouvrage de Jean Pujolle : « Du bruit chez vous, que faire ? » publié par ELP Editions en 1974, et auquel nous emprunterons d'utiles renseignements, indique :

« L'habitude est de ranger les bruits en trois catégories :

- les bruits aériens, extérieurs et intérieurs au bâtiment ; ils émanent de sources qui rayonnent de l'énergie sonore autour d'elle ; ils sont assez soutenus, assez constants, du moins pendant une certaine durée de temps...

- les bruits de chocs ou d'impacts, tels que les bruits de pas, les bruits d'objets frappant parois ou sols ; ces bruits transmettent des vibrations qui ont un caractère impulsif ; la gêne produite dépend du nombre d'impulsions, de leur fréquence de répétition, de leur rapprochement dans le temps, de l'heure à laquelle ils se produisent ;

- les bruits d'équipements, qui se divisent en deux sous-groupes : les bruits d'équipements individuels concernent essentiellement les installations hydrauliques (on y range aussi les ventilations mécaniques et les installations de chauffage individuel) ; les bruits d'équipements collectifs (auxquels le pouvoir réglementaire s'intéresse) comprennent les chaufferies, les ascenseurs, les vide-ordures. »

Comment mesurer ces bruits ? et d'abord quoi mesurer ?

On s'en tient, pour les problèmes d'isolation phonique, à la solution la plus simple : on ne mesure que l'intensité, quitte à apporter quelques corrections pour tenir compte d'éléments comme la hauteur ou la forme de l'onde.

Même en se limitant à cet unique critère, on se trouve devant un problème à plusieurs déterminations (autant que de types de bruit possibles pourrait-on dire, c'est-à-dire beaucoup) mais qui conduisent généralement à des résultats assez voisins.

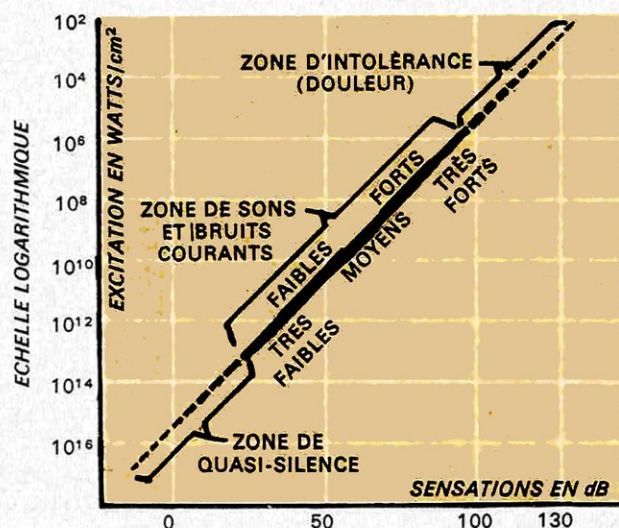
Cette simplification étant apportée, on procède en trois étapes plus ou moins imbriquées : la recherche d'une échelle cohérente d'évaluation des intensités ; l'appréciation chiffrée des limites de gêne, qui conduit à fixer les valeurs de l'isolement phonique ; la mise au point d'appareils et de méthodes permettant de créer des bruits-étalons et d'assurer une mesure des bruits réels.

Évaluation de l'intensité d'un bruit

Le mot intensité est souvent pris dans deux sens :

- l'intensité physique, qui est le flux d'énergie de la vibration quand elle arrive à l'oreille ;
- l'intensité physiologique, appelée quelquefois *sonie*, qui correspond à la sensation reçue par l'auditeur.

L'oreille répond (assez grossièrement, il est vrai) à une loi bien connue dite de Weber-Fechner, selon laquelle la sensation varie comme le logarithme de l'excitation. C'est en supposant que cette loi était rigoureuse qu'on a défini une échelle de sensations d'intensité dont les degrés s'expriment en décibels (dB).



L'échelle des sensations sonores est nettement différente de celle des niveaux d'énergie.

La figure ci-dessus donne la correspondance entre les niveaux d'excitation, exprimés en unités de puissance, et les niveaux de sensation, exprimés en dB. Elle montre que la zone des sons courants est physiquement très large, mais physiologiquement assez réduite. C'est approximativement entre 70 et 80 dB que se fait le passage de la sensation modérée à la sensation forte ; le passage est donc très rapide. En deçà et au-delà, il y a une zone de transition plus lente qui conduit d'un côté aux sons presque inaudibles (disons inférieurs à 30 dB) et de l'autre aux sons intolérables (en gros, supérieurs à 120 dB).

Cette échelle des sensations ne permet toutefois pas d'exprimer simplement certaines relations. C'est ainsi que lorsque deux moteurs de même puissance fonctionnent ensemble, la sensation de bruit ne double pas ; elle augmente logarithmiquement de 3 dB ; s'il y a dix moteurs, l'accroissement est de 10 dB et pour cent moteurs, de 20 dB.

Elle ne traduit pas non plus la propriété de l'oreille d'être moins sensible, à excitation égale, aux sons graves et aux sons aigus qu'aux sons du « milieu du clavier ». On compense l'écart qui peut apparaître entre la sensation réelle et son expression en dB en définissant ce qu'on appelle des décibels pondérés. Lorsque le son contient

un mélange de sonorités graves, moyennes et aiguës, ce qui est presque toujours le cas, cette pondération donne des valeurs plus proches de la réalité physiologique.

La figure en bas montre ce que sont les courbes de pondération du niveau d'intensité acoustique normalisées internationalement.

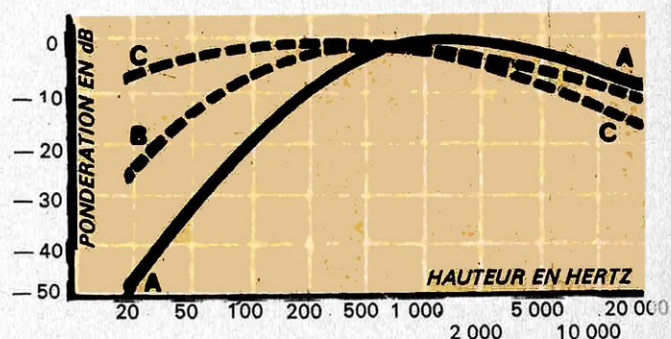
Lorsqu'on manipule des sons forts ou moyens, on utilise les courbes de pondération C ou B, qui s'écartent assez peu, la première surtout, de l'horizontale, confirmant qu'aux niveaux élevés, la sensibilité de l'oreille est la même à toutes les hauteurs. Par contre, la courbe de pondération des sons faibles (courbe A), qui sert essentiellement à mesurer les résidus sonores après isolement phonique, est beaucoup plus incurvée vers le bas : c'est elle qui définit les décibels pondérés (A) : ce sont ces dB (A) qui sont le plus utilisés dans la réglementation actuelle pour caractériser les sensations de bruit.

On remarquera que, dans le cas d'un son contenant une large bande de fréquences, la sensation exprimée en dB (A) est traduite par un nombre plus petit que celle exprimée en dB non pondérés. Si le son contient beaucoup de composants graves, la différence peut être importante.

Limites de gêne, bruits tolérables

Cette normalisation étant acquise, on s'est efforcé de fixer les niveaux, exprimés en dB (A), tolérables à l'écoute. Il s'agit d'un problème subjectif qui présente encore une double indétermination : personnelle, car, comme on l'a vu, il est très difficile de faire des évaluations statistiques en ce domaine ; collective, car, selon la destination normale du local où apparaît le bruit, les tolérances sont plus ou moins grandes.

Il est évident que la gêne acceptable dans un studio de radiodiffusion est considérablement plus faible que dans un bureau privé ; que celle-ci est moindre que dans un bureau public ; que des précautions particulières doivent être prises dans les hôpitaux... Dans tous les cas, d'ailleurs, on est soumis à une contrainte économique importante : plus le bruit tolérable est faible, plus le coût de l'isolation est grand. On en arrive rapidement à un coût disproportionné par rapport



La courbe (A), dite pondérée, rend compte des différences de sensibilité selon la fréquence.

aux avantages offerts.

Les valeurs données pour les bruits tolérables (qui ont d'ailleurs variées au cours du temps) constituent au total des compromis qui tiennent compte d'un grand nombre de constatations expérimentales. Pour se limiter aux habitations, on admet généralement que les niveaux de bruit pondéré ne doivent pas dépasser, en permanence, des valeurs de l'ordre de 35 dB (A) dans les pièces principales d'un appartement. Pour pouvoir reposer sans gêne, ces bruits doivent être abaissés à 25 ou 30 dB (A) environ dans le local où l'on dort (1).

Le règlement du 14 juin 1969 applicable aux constructions dont le permis de construire a été délivré après le 1^{er} juillet 1970 apporte un certain nombre de précisions utiles. Le niveau pondéré ne doit pas dépasser 35 dB (A) au centre des locaux d'un logement quand le bruit ne dépasse pas 86 dB (A), donc un chiffre relativement élevé, dans les logements voisins.

D'importantes précisions sont données, dans ce même règlement de juin 1969, sur les bruits d'équipements : pour les équipements collectifs, le niveau d'intensité pondérée au centre des pièces principales ne doit pas dépasser 30 dB (A) ; pour les équipements individuels, le niveau limite permis est 35 dB (A). Les textes d'application précisent, en ce qui concerne les ascenseurs, les chaufferies et les vide-ordures, que les mesures doivent être faites dans les logements de l'immeuble les plus exposés.

Isolement phonique

On définit l'*isolement phonique* d'un local comme la différence entre le niveau pondéré d'un bruit, mesuré à l'extérieur, et le niveau pondéré du même bruit, mesuré à l'intérieur. C'est évidemment cette valeur qui intéresse le constructeur : s'il est renseigné sur la gêne tolérable, il ne l'est pas du tout sur le bruit extérieur toujours fluctuant et qui dépend beaucoup du lieu où est édifié l'immeuble.

Le pouvoir réglementaire a apporté quelques précisions dans ce domaine, compte tenu des renseignements fournis par les laboratoires spécialisés. Il a procédé à un classement des locaux en trois catégories : locaux d'habitation ; locaux où s'exercent des activités commerciales et industrielles ; lieux de circulation.

Entre les premiers, l'isolement doit être de 51 dB (A) au moins ; entre les premiers et les seconds de 56 dB (A) ; entre les premiers et les troisièmes de 41 dB (A). Cela revient à dire que le niveau pondéré dans un logement ne doit pas dépasser 35 dB (A), quand il n'est pas supérieur, suivant le cas, à 86, 91 ou 76 dB (A) dans les locaux voisins.

La réglementation admet une tolérance de 3 dB (A) ; celle-ci s'applique également aux niveaux de 30 et 35 dB (A) définis plus haut dans le cas des bruits d'équipement.

On remarquera que le règlement de juin 1969 est muet sur la protection à assurer contre les bruits extérieurs au bâtiment, et notamment contre les bruits de circulation qui sont parmi les plus gênants. Un complément doit être apporté à la réglementation actuelle pour imposer aux façades un isolement minimal, qui doit naturellement être d'autant plus grand que l'immeuble se trouve dans une zone moins calme. On pourrait opérer sur la base du classement suivant, établi par la Direction de l'équipement : *zone I*, très bruyante, niveau d'intensité devant la façade supérieur à 73 dB (A) ; *zone II*, bruyante, niveau d'intensité compris entre 63 et 73 dB (A) ; *zone III*, peu bruyante, niveau d'intensité inférieur à 63 dB (A).

Jean Pujolle estime qu'on pourrait admettre, pour l'isolation des façades, les valeurs suivantes : en zone I, 39 dB (A) ; en zone II, 30 dB (A) ; en zone III, 25 dB (A), ceci avec une tolérance de 3 dB (A).

Toutes ces indications chiffrées sont assurément fort intéressantes. Elles impliquent toutefois, pour leur utilisation pratique, que les mesures soient effectuées avec une bonne garantie de cohérence.

Appareils et méthodes de mesure

Les mesures se font à l'aide d'un sonomètre ; il en existe de portatifs, facilement manipulables ; il en existe de plus complets, disposant notamment d'un système d'enregistrement automatique.

Le principe en est simple ; l'appareil contient trois organes essentiels : un microphone qui recueille le bruit et transforme à chaque instant l'énergie sonore en une tension électrique aux bornes d'un circuit ; des filtres qu'on peut fixer à ces bornes et intercaler à volonté (leur rôle est d'affaiblir, dans des proportions déterminées, les aigus et les graves, de façon à simuler les caractéristiques de l'oreille) ; un dispositif de lecture, tableau alphanumérique ou cadran gradué, sur lequel on lit directement le niveau exprimé en dB (A).

On imagine les précautions à prendre pour éviter les erreurs de mesure. Le bruit est généralement fluctuant et l'aiguille bouge continuellement ; les parasites sont nombreux, surtout lorsqu'on mesure des bruits faibles qui émergent peu du bruit ambiant. Pour ces raisons, il est vivement recommandé de s'adresser à des laboratoires spécialisés (2).

Il arrive souvent qu'on soit amené, par exemple pour contrôler certains éléments de la construction en atelier ou laboratoire ou pour faire des vérifications sur place, à simuler divers types

(2) Leur liste est fournie par les Services techniques du ministère de l'équipement ; il en existe au moins une vingtaine, plus ou moins bien outillés, en France. Le Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) a été désigné comme organisme pilote de contrôle et comme instance d'appel en cas de contentieux.

(1) J. Pujolle (ouvrage déjà cité).



Les rues étroites des grandes villes constituent d'excellents guides d'ondes sonores.

La propagation du bruit

Une question préalable est de savoir comment le bruit se propage. Il ne peut guère utiliser que trois moyens.

- La voie aérienne, par les portes, fenêtres, gaines de ventilation, joints, serrures, cheminées...

- La voie solide (conduction) par la structure de l'édifice, ses murs, cloisons, sols, planchers, les parois des conduites...

- Une voie mixte, utilisant essentiellement l'effet de « tambour » des parois.

La voie aérienne. Les points auxquels il est demandé au constructeur de prêter attention pour éviter les méfaits de ce type de propagation sont essentiellement :

- les portes palières qui doivent présenter un joint périphérique continu sur les quatre bords ;
- les gaines de ventilation, chauffage ou conditionnement qui transmettent les bruits aériens de la centrale (de chauffe) et les bruits des ventilateurs. Pour les atténuer, il est recommandé d'augmenter la longueur des gaines, d'en revêtir sur tout le trajet les parois intérieures à l'aide d'un matériau absorbant le son ; si besoin est, de construire des chicanes au voisinage des bouches de sortie et de donner à celles-ci un profil aérodynamique (évitant la création de sifflements).

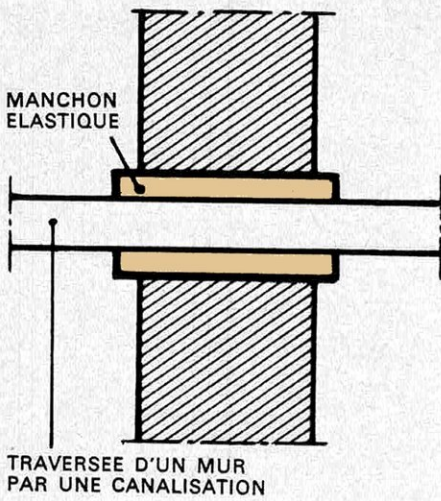
On admet généralement que le niveau de bruit transmis par de telles ouvertures peut monter à 35-38 dB (A) sans trop d'inconvénients, mais seulement dans les pièces secondaires.

La voie solide. Le bruit se transmet jusqu'au local « troublé » par conduction, mais il n'agit sur l'oreille que si, dans ce local, il est finalement à l'origine d'un rayonnement important — d'un type analogue au rayonnement de chaleur à partir des radiateurs.

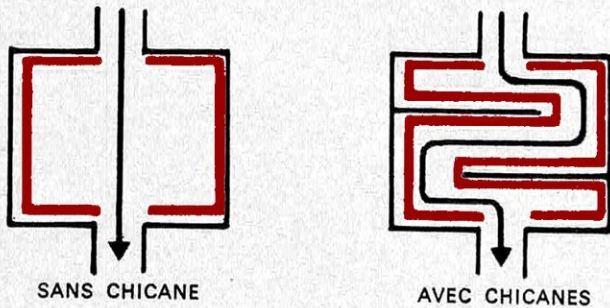
On distingue à ce propos : la transmission directe provoquée par un choc ou un ébranlement sur la structure même du bâtiment ; la transmission indirecte qui concerne les bruits aériens à l'origine, mais utilisant aussi la voie solide sur une partie de leur parcours.

Dans la construction courante, l'isolement correspondant à ce second trajet dépasse 55 dB (A) ; il n'est à réviser que dans le cas de locaux qui doivent être spécialement isolés.

La transmission par conduction se produit dans un volume, par exemple la terre tassée des



Les canalisations traversant un mur doivent être dotées d'un manchon isolant.



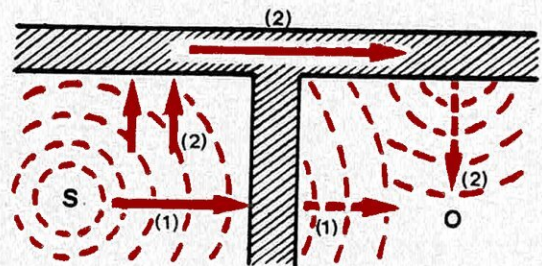
Les bouches de chauffage peuvent être équipées de chicanes à profil aérodynamique.

de bruit. Pour simuler des bruits continus, on utilise les classiques générateurs de bruit blanc qui fournissent, sous forme électrique, une énergie ajustable également répartie sur toutes les fréquences. En y branchant des filtres, il est facile d'atténuer certaines zones de fréquences pour obtenir la structure d'un bruit défini à l'avance ; ces générateurs sont branchés à des haut-parleurs disposés au gré de l'expérimentateur et le bruit est mesuré au sonomètre.

Pour simuler les bruits d'impacts, on se sert d'une machine à chocs normalisée ; elle comprend cinq marteaux en ligne tapant successivement sur le sol, en tombant toujours de la même hauteur à une cadence de 5 à 10 coups par seconde. Le règlement de la construction indique que lorsque cette machine est placée sur le plancher d'un local, le niveau d'intensité pondérée ne doit pas dépasser 70 dB (A) au centre du local inférieur.

Cette valeur peut paraître élevée ; elle a été choisie à dessein pour pouvoir faire des mesures de transmission à un niveau qui émerge nettement du bruit d'ambiance. L'expérience montre d'ailleurs que si elle n'est pas dépassée, les bruits de chocs habituels, tels que bruits de pas, ne constituent pas une gêne pour les voisins.

Restent à définir les procédés utilisés pour assurer la protection d'un local contre le bruit.

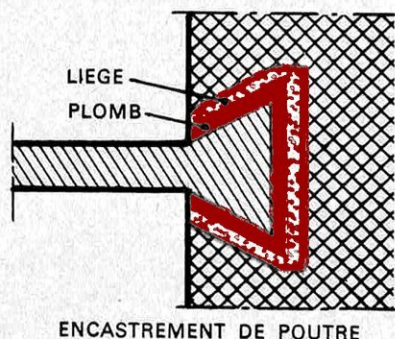
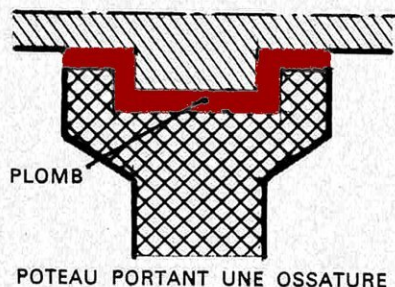
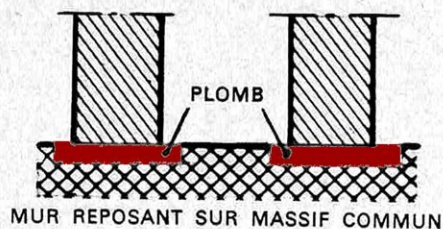


Propagation aérienne et propagation par conduction dans les matériaux sont très souvent associées.



Alberto Mantovani.

Témoignage de l'architecture métallique ancienne, il est plus discutable au plan du confort acoustique.



En certains points, on utilise des isolants conservant leurs propriétés sous fortes pressions.

fondations par où arrivent les vibrations dues au passage des camions, du métro, etc. ; par les panneaux plans que constituent les parois des pièces (vibrations de machines transmises à des socles reposant sur le plancher) ; en suivant les poutres et les canalisations qui se comportent comme de véritables guides d'ondes.

L'énergie sonore initiale est diluée dans la masse et se disperse aux points de jonction des poutres et cloisons ; toutefois, lorsque la structure est rigide, elle parcourt, avant de s'affaiblir, le bâtiment en tous sens et des effets de résonance dangereux peuvent même se produire en certains points.

On arrête la conduction en provoquant des coupures franches sur les matériaux ; on l'atténue en interposant sur son trajet des joints élastiques — cas des tuyauteries de chauffage central — ou absorbants.

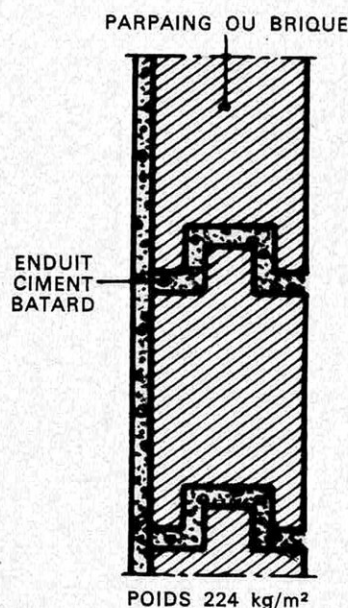
La voie mixte est une des plus dangereuses : le son rencontre une paroi, la fait vibrer et provoque ainsi un rayonnement dans le local voisin ; l'énergie rayonnée est d'autant plus forte (donc l'isolement d'autant plus faible) que la paroi est plus légère.

Rayleigh a, en effet, montré que l'isolation d'une paroi, telle qu'on la rencontre dans la construction « lourde » courante, répond à une

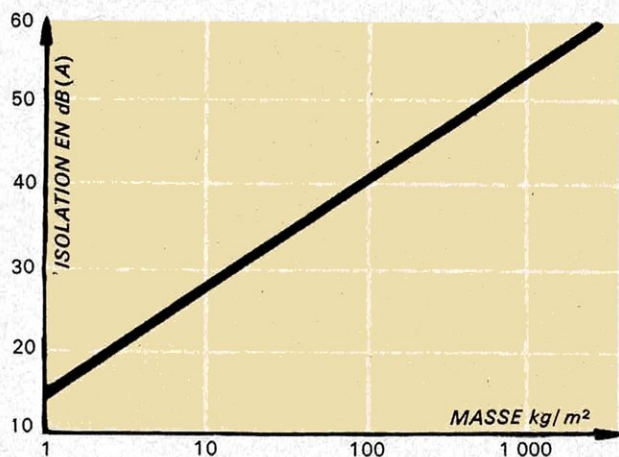
loi simple, dite loi des masses : l'isolation d'une paroi est proportionnelle au logarithme de sa masse au mètre carré. Ainsi, les cloisons légères ont un faible isolement : une paroi en carreau de plâtre enduit pesant 100 kg/m^2 a un isolement de 40 dB (A) environ. Et si l'isolement croît avec la masse, il ne le fait que très lentement ; chaque fois que la masse double, le gain est seulement d'environ 4 dB (A) ; si elle est multipliée par 8, le gain est seulement de l'ordre de 12 dB (A). Par suite, l'isolement d'une cloison en parpaing ou en brique de 15 cm pesant 224 kg/m^2 est de 44 dB (A) environ. En la revêtant d'un enduit, on gagne quelques dB.

La conséquence désastreuse de la loi des masses, c'est que, pour isoler convenablement un appartement, c'est-à-dire dépasser le plus largement possible 50 dB (A), on est obligé d'employer des parois lourdes, onéreuses par elles-mêmes et plus encore par le renforcement général qu'elles entraînent pour tout le dispositif porteur de la construction.

Il existe heureusement plusieurs moyens de « tourner » la loi des masses ; l'un d'entre eux consiste à utiliser un système de doubles parois constitué par deux cloisons l'une à côté de l'autre. En théorie, leurs isolements, exprimés en dB (A), s'ajoutent arithmétiquement ; en pratique, ce résultat n'est valable que lorsque les parois sont suffisamment éloignées l'une de l'autre et reposent sur des supports isolés de façon à pouvoir être considérées comme totalement indépendantes (on dit entièrement *découplées*)... La mise en vibration de la première doit être sans effet sur la seconde ; celle-ci ne devrait amorcer son mouvement que sous l'effet de l'onde sonore résultant du rayonnement de la première, et non sous celui d'une quelconque conduction.



Une simple coupure bouchée d'enduit peut amoindrir le pouvoir de conduction d'une cloison.



La loi de Rayleigh définit l'isolation par une paroi en fonction de sa masse et de sa surface.

Ce ne peut être rigoureusement le cas dans un bâtiment, où, pour des raisons faciles à comprendre, les éléments de cloison sont écartés au plus de quelques centimètres ; néanmoins, si on prend le soin de les isoler l'une et l'autre du plancher dans lequel elles sont encastrées par des joints élastiques, et de séparer les planchers sur lesquels chacune repose, on peut obtenir, par rapport à la loi des masses, un gain de 10 à 15 dB (A).

Dans la pratique, le poids des parois séparant deux appartements ne saurait être inférieur à 350 kg/m² si elles sont simples, à 250 kg/m² si elles sont doubles, à condition qu'il y ait entre les deux éléments un intervalle de 4 à 5 cm au moins, rempli d'un absorbant acoustique (tel que laine minérale en plaques) et qu'il n'y ait aucune liaison solide entre les éléments. Ceux-ci doivent d'ailleurs être de poids différents, afin d'éviter les effets de résonance qui rendraient le mur particulièrement perméable à certaines fréquences.

Obturation soignée des joints, établissement de « discontinuités » dans la construction, utilisation de parois lourdes ou doubles, tels sont les trois pôles autour desquels doit s'inscrire l'isolation correcte d'un local, et en particulier d'un logement.

Savoir acheter un appartement

Quelle action doit mener l'occupant futur d'un appartement pour s'assurer qu'il est « convenablement silencieux » ?

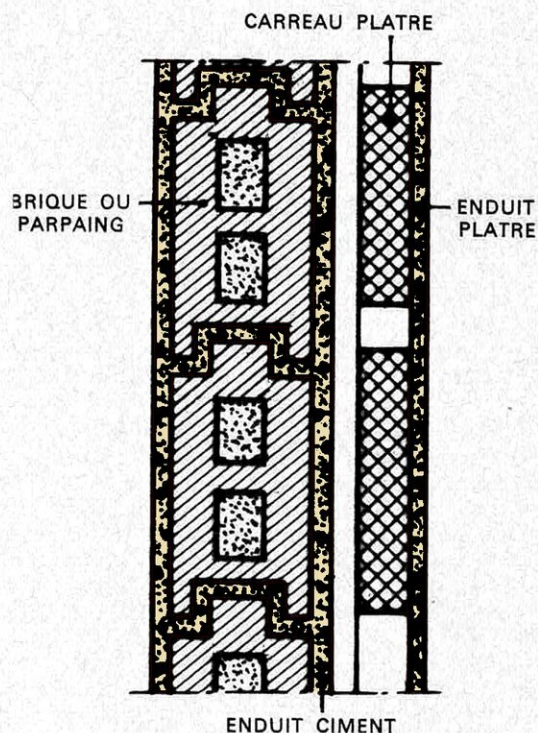
Un cas fréquent est celui d'un client désireux d'acheter un appartement, sur le vu d'une publicité par exemple ; quels moyens a-t-il d'apprécier la qualité phonique du logement ou, le cas échéant, de la faire améliorer en cours de construction ?

● Sur le plan réglementaire, il s'assurera que le constructeur a pris toutes les dispositions pour respecter l'arrêté du 14 juin 1969 ; il lui demandera, en particulier, s'il a fait examiner sur plan l'acoustique du bâtiment par le CSTB ou

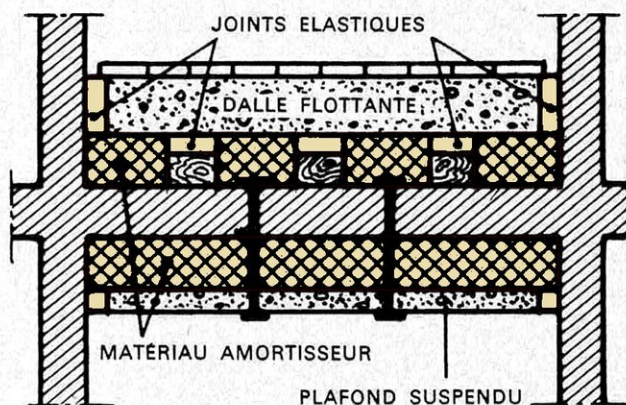
par le CNEIL (Centre national d'études et d'initiatives en faveur du logement).

● Sur le plan technique, avec l'aide d'un bureau d'études ou d'un ingénieur conseil spécialisé en acoustique, le client examinera comment il est isolé des bruits aériens, des bruits de chocs et des bruits d'équipements (ces derniers peuvent utiliser n'importe quel mode de propagation). L'encadré page 50 donnera certaines précisions quant à l'examen pratique à faire subir au logement.

Dans le cas d'un logement existant, on peut, sur le plan réglementaire, se référer à la loi du 3 janvier 1967 qui permet, pour les appartements dont le permis de construire a été demandé après le 1^{er} juillet 1970, de faire des réserves au moment de la réception pour « vices apparents ».



Le système des doubles parois de masses différentes et isolées est une bonne astuce.



Entre deux « niveaux », les planchers à dalles flottantes tournent la loi de Rayleigh.

Pour les bâtiments construits antérieurement, on n'est pas entièrement démuné, car, dans la réglementation de l'époque, le constructeur devait réaliser son bâtiment avec « une isolation acoustique suffisante ». Le règlement de juin 1969 a permis de préciser ce que couvrait le terme « suffisant » et certains tribunaux s'en sont inspirés.

UN APPARTEMENT AU CRIBLE

Bruits aériens. On vérifie l'épaisseur et le poids des murs ou cloisons de séparation entre les logements (350 kg/m² minimum si la paroi est simple ; 250 kg/m² si elle est double). Les parois doivent avoir un bon enduit et aucun élément tel que gaine, canalisation, coffre ou placard pris dans leur épaisseur. Il y a intérêt à ce que ces parois soient doublées par un placard sur toute leur surface, ou, si possible, par un couloir intérieur.

On examine les façades et les fenêtres. On essaie de classer l'environnement en zone I, II ou III ; on tient compte de la densité de la circulation, de la largeur et du dégagement des rues (parc, jardins, etc.), du type de véhicules qui s'y déplace le plus fréquemment (on peut se reporter à une circulaire du 29 juin 1972 du Ministère de l'équipement qui donne d'utiles renseignements à cet égard).

Si l'on est en zone I (isolement souhaitable 39 dB (A)), il faut des doubles fenêtres et des coffres de volets roulants extérieurs ; en zone II (isolement de 25 dB (A)), et en zone III (isolement de 20 dB (A)), on peut se montrer moins sévère ; on examinera cependant l'épaisseur des vitrages, sachant que si elle varie de 3 à 12 mm, l'isolement va de 25 à 32 dB (A) pour une surface vitrée qui ne dépasse pas le quart de la surface de la paroi ; si elle passe du quart à la moitié, l'isolement baisse de 3 dB (A) ; on s'intéressera aussi à la nature des joints des fenêtres qui doivent « bien fermer » ; à la manière dont sont placés les volets roulants : leurs coffres doivent être extérieurs ou, s'ils sont intérieurs, ils devront être faits d'un bois d'épaisseur d'au moins 22 mm tapissé intérieurement de laine minérale.

On observera les parois séparant la partie « nuit » de la partie « jour ». L'isolement peut être considéré comme satisfaisant si le poids des cloisons dépasse 200 kg/m² et s'il faut passer par deux portes au moins pour aller de l'une à l'autre ; il est aussi recommandé de doubler toute la surface de ces parois par des placards ou d'interposer un couloir de dégagement.

Insistons sur le fait que les valeurs relevées en laboratoire sont toujours supérieures à celles obtenues sur place ; si donc on dispose d'un procès verbal d'essai, il convient que les valeurs d'isolement qu'il mentionne soient supérieures de 4 à 5 dB (A) à celles indiquées ici.

Sur le plan technique, il convient de procéder en détail à l'examen préconisé dans l'étude sur plan (voir encadré) ; mais il est préférable de faire faire des contrôles par les laboratoires utilisant des générateurs de bruit, des machines à chocs et des sonomètres (3). Le Groupement des acousticiens de langue française (GALF) est susceptible de fournir tous renseignements utiles.

Bruits de chocs. Autant l'isolation des bruits aériens peut être examinée sur plan (dans la mesure où des précautions sont prises pour que, pendant la construction, les indications soient rigoureusement respectées), autant il est difficile d'évaluer, avant la construction, ce que pourra être l'isolement aux bruits de chocs. Il convient toutefois de s'informer de la nature des revêtements de sol et s'assurer que les cuisines et salles d'eau souvent revêtues de carrelages sont éloignées des pièces principales. Le poids des planchers est un indice facile à prendre en considération ; comme pour les cloisons, il doit être de 350 kg/m² au moins ; cette valeur peut être diminuée par l'utilisation de dalles flottantes.

Bruits des équipements. Du côté des équipements collectifs, on s'intéressera au chauffage dont le bruit ne doit pas dépasser 30 dB (A) ; l'isolement des appartements les plus voisins est difficile (il n'est pratiquement assuré que par un local tampon). Les bouches de ventilation de la chaufferie ne doivent pas être trop proches du logement ; les gaines doivent être traitées contre le bruit (comme on l'a vu plus haut dans le texte principal). Le passage des canalisations métalliques entre deux appartements comportera un manchon isolant de matière plastique.

Pour les ascenseurs, la cage doit être éloignée des pièces principales de l'appartement et les vibrations de la machinerie amorties grâce à une suspension vibratile.

La pièce la plus proche du vide-ordures en sera séparée par deux murs au moins de poids 100-150 kg/m² au minimum ; les portes du local seront parfaitement jointives ; les pièces situées au voisinage du bas de la chute sont les plus vulnérables.

Au point de vue des équipements individuels, on fera principalement attention à l'installation de chauffage qui doit être isolée des pièces principales au moyen de deux murs (ou plus) de 100 à 150 kg/m², avec portes bien jointives.

Les robinets sont classés par un indice appelé DS ; plus cet indice est grand, plus le robinet est silencieux.

Pour les canalisations, il faut demander s'il y a un dispositif anti-bélier et si elles passent dans des gaines pour aller d'un étage à l'autre. Les parois des gaines doivent avoir un poids minimal de 50 kg/m² et les portes de visite être en bois lourd. Le passage à travers les parois se fera dans un manchon élastique, comme pour les tuyaux de chauffage. Les colliers qui les fixent aux parois comporteront un matériau antivibratile et ces parois pèseront au moins 200 kg/m².



Alberto Mantovani.

Des sons perturbateurs « composés d'éléments d'origine multiple mais de nature similaire »...

Label « confort acoustique » et « profil de qualité »

Les efforts menés, malgré les difficultés signalées au début de cet article, par les pouvoirs publics pour promouvoir la lutte contre la pollution sonore ont été récemment marqués par une série de dispositions qui, si elles ne sont pas contraignantes, n'en constituent pas moins pour les constructeurs une pression continue. Elles sont aussi, pour les tribunaux appelés à traiter les contentieux, une solide base d'appréciation.

Le *label confort acoustique* a été institué par l'arrêté du 10 février 1972 qui prévoit une procédure d'examen préalable du dossier. Cet examen est obligatoire dès que la demande d'attribution de label a été faite, sauf pour les projets qui ont été établis avec la participation de spécialistes.

Le label confort acoustique est destiné aux constructions dans lesquelles les niveaux d'isolation réglementaires sont dépassés de 3 à 6 dB (A). Il comporte trois degrés, correspondant à des niveaux croissants de qualité (1 étoile, 2 étoiles, 3 étoiles). Notons toutefois que les contrôles ne portent que sur un certain pourcentage de logements à l'intérieur d'un immeuble, ce qui ne rend pas impossible qu'un mauvais isolement leur échappe.

Le 26 mars 1974, par ailleurs, l'Etat a passé une convention habilitant l'association Qualibel

à délivrer un *profil de qualité* des logements à des demandeurs qui peuvent être des usagers, des promoteurs, des groupements d'usagers, des organes de presse.

La méthode d'appréciation consiste à donner une note de 1 à 5 pour les qualités d'un logement rangées en 18 rubriques où figurent la protection contre les bruits intérieurs à l'immeuble et la protection extérieure.

L'appréciation, faite sur plans, permet la délivrance du profil initial de qualité (P.I.Q.), avant la construction. Après l'achèvement des travaux, sur le vu des mesures faites, on délivre le profil de qualité final. Celui-ci, pour chacune des rubriques étudiées — et pour l'ensemble de l'immeuble — se présente sous la forme d'un tableau dont nous pouvons donner l'exemple suivant :

Niveau de qualité	1	2	3	4	5
Protection intérieure	○	○	●	●	○
Protection extérieure	○	○	●	○	○

Ce graphique exprime que, pour la protection intérieure, 50 % des logements ont obtenu la note 3, 50 % la note 4 ; pour la protection extérieure, tous les logements ont obtenu la note 3.

Il faut au moins obtenir la note 3 pour que la protection soit suffisante ; avec 4, elle est bonne ; avec 5, très bonne.

(3) Un appareil imaginé par le Laboratoire d'acoustique de l'ex-ORTF, pour faire des mesures rapides, sera peut-être mis bientôt sur le marché. Il serait appelé comparaphone.

**CHAQUE RELIURE
EST CONÇUE POUR
CLASSER
6 NUMEROS**



20F

**Franco
SEULEMENT**

**LES
2**

RELIURES

**Prix
coûtant
pour les lecteurs
de SCIENCE ET VIE**

LES RELIURES DE SCIENCE & VIE



VOUS PERMETTRONT DE CONSERVER :

- VOS NUMEROS MENSUELS
- VOS NUMEROS HORS SERIE

PRATIQUES : vous réaliserez facilement le classement désiré.

ROBUSTES : la qualité des matériaux utilisés vous assure une protection efficace.

ESTHETIQUES : le rayonnage ainsi constitué sera digne de votre bibliothèque.

BON DE COMMANDE
à retourner à **SCIENCE ET VIE**
5, rue de la Baume - 75008 PARIS.

● Je désire recevoir RELIURES au prix de 20 F les 2 exemplaires.

● Je vous joins la somme de F par

☐ chèque bancaire ☐ Mandat poste

☐ CCP 3 volets (sans indiquer de numéro de compte)

NOM

ADRESSE

CODE VILLE

LES NOUVELLES MACHINES A MUSIQUE

*Même si l'on écarte
la nuée
d'instruments classiques
auxquels l'électronique a,
au fil des années,
apporté son assistance,
les termes
de musique électronique
recouvrent encore
une réalité trop confuse.
Les spécialistes
(en particulier les promoteurs
de nouvelles
formes musicales)
se sont d'ailleurs
souvent heurtés
à propos du rôle possible
de l'ordinateur
dans leur élaboration.
Il n'est sans doute
pas indispensable d'entrer
dans ces querelles d'école
pour constater
les immenses possibilités
de la machine
au seul plan
de l'analyse musicologique.*

 Le dernier Festival d'automne à Paris n'était pas seulement un grand événement de musique contemporaine (il en est ainsi, par définition, de tous les Festivals...) : il brossait, avant tout, un panorama d'œuvres « électro-acoustiques » dont certaines (comme « l'Acustica » de Mauricio Kagel) étaient spécifiquement conçues pour « sources sonores expérimentales ». Le spectateur se trouvait donc d'emblée aux prises avec cette musique électronique dont on parvient mal, aujourd'hui, à cerner les contours.

Ces termes se sont appliqués un temps aux désincarnations des sons et aux manipulations de fréquences chers à Pierre Schaeffer, puis à la production d'oscillations électriques à l'origine de vibrations acoustiques nouvelles (par l'intermédiaire de « synthétiseurs de sons ») et dont les techniques possèdent déjà leurs classiques : « Orphée » de Pierre Henry, « Le chant des Adolescents dans la fournaise » de Stockhausen, et les œuvres de Prodomides, Boulez, etc. Tant et si bien qu'en 1975, c'est encore une œuvre « électroacoustique », associant une théâtralisation du concert à de nouvelles recherches dans le domaine de la diffusion acoustique, « Futuristie I » de Pierre Henry, qui inaugura la nouvelle grande salle du Palais de Chaillot. Musique électronique encore, que celle qui touche à la musique algorithmique, celle composée par ordinateur et où s'illustrent Pierre Barbaud et Xenakis, après Hiller et Isaacson.

Le profane est trop facilement enclin à mélanger ces diverses techniques. Ce à quoi contribue le terme vague de « musique électronique ». Il y a là, pourtant, des tendances assez nettement différentes.

La confusion en question était précisément dénoncée en 1970 par Pierre Schaeffer, lors d'un symposium de l'Unesco à Stockholm. Le père de la musique concrète protestait contre l'usage de l'ordinateur auquel il opposait la virtuosité et la conscience artistique du compositeur. Il ne

s'agissait pas là d'une simple controverse entre musicologues, mais d'une détermination stricte de la limite des genres : produire des sons nouveaux (et le plus scientifiquement possible) est une chose ; les assembler en est une autre. Créer des sons en agissant sur leurs composantes acoustiques (harmoniques, partiels) et sur leur évolution dans le temps (ce qu'on appelle l'enveloppe temporelle) serait le rôle dévolu aux synthétiseurs, capables de réaliser des fonctions simples (amplificateurs, générateurs d'enveloppe temporelle, unités de réverbération...).

L'autre technologie était le propre de l'ordinateur, capable, à l'aide de procédés aléatoires, de créer des événements sonores compatibles avec des règles imposées. Soit dit en passant, l'ordinateur assistant-compositeur ne ferait ainsi que mettre en pratique une règle d'automatisation édictée par... Mozart en 1793. L'auteur de Don Juan a, en effet, rédigé un traité sur « l'art de composer des valse à l'infini » où il suggère au compositeur amateur d'assembler quelques mesures toutes préparées, dans l'ordre indiqué par des dés jetés au hasard.

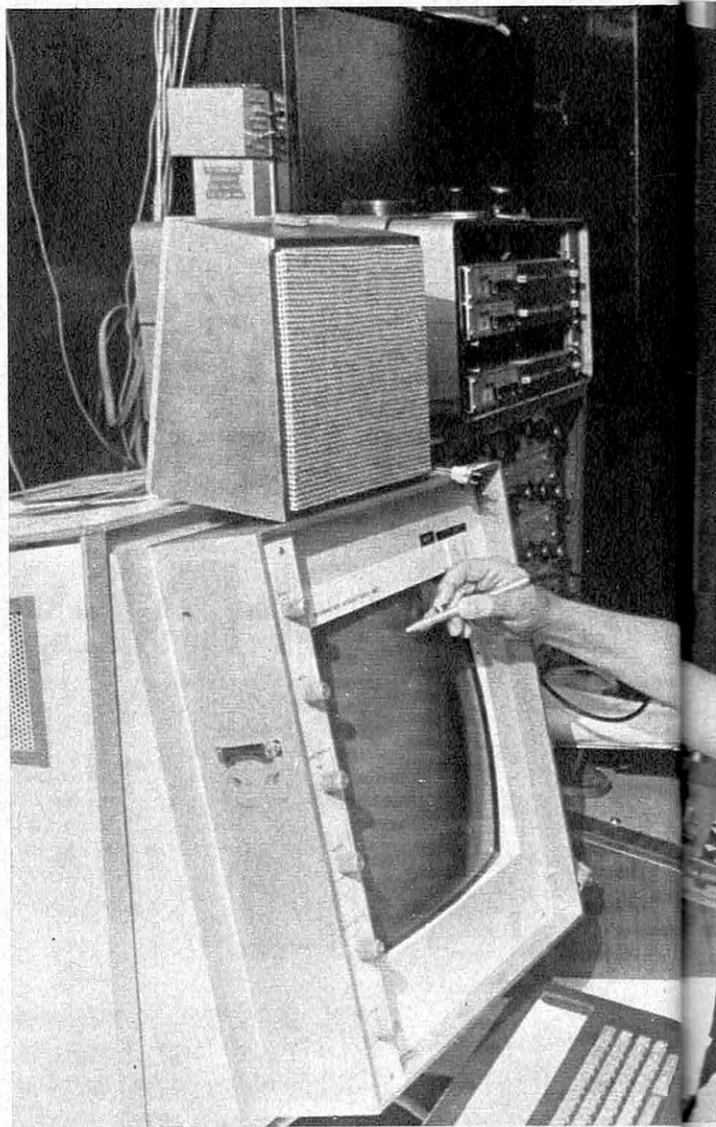
Mais l'ordinateur raffina la méthode. Dans la mesure où la musique est bien un « exercice d'arithmétique » (comme le disait Leibnitz), l'équivalence nombre-note peut tout naturellement conduire à l'établissement d'algorithmes, c'est-à-dire à la formulation et la programmation de certaines contraintes dans lesquelles se meuvent les notes, l'ordinateur opérant son choix dans la plus ou moins grande marge de manœuvre qui lui est laissée.

Donc, tout devenait clair : une acoustique électronique créait des sons au libre choix d'utilisation des compositeurs. Quant à l'ordinateur, il pouvait servir à grouper ces sons en « ensembles mathématiques » convertis en œuvres musicales artificielles.

L'ordinateur musicologue

Comme si, avec l'ordinateur, les choses pouvaient rester simples... Car, on s'en doutait, l'ordinateur peut tout, et devenir lui-même, en particulier, créateur de sons. Il agit alors en « amont » de la composition musicale, se trouve musicologue en « aval » et, de surcroît, pédagogue.

Il est caractéristique que, dans une déclaration faite à la presse, M. Michel Decoust, collaborateur de Pierre Boulez à l'IRCAM (Institut de Recherche et de Coordination Acoustique-Musique) où il a été nommé, il y a quelques mois responsable du département de la pédagogie, ait dit notamment : « ... ce sera l'un de mes buts, à l'IRCAM, que de mettre au point une méthode sur ordinateurs permettant d'accélérer l'assimilation des règles classiques d'interprétation, d'analyse, d'harmonie et de contrepoint : il faut 10 ans d'études pour jouer convenablement un concerto de Mozart. N'y a-t-il pas un moyen d'aller plus vite ?... »



La solution est complexe. Des spécialistes ont fait observer, par exemple, que si l'on se contentait d'introduire en machine les données fournies par les livres d'acoustique les plus réputés concernant les paramètres-clés des grands instruments classiques, l'instrument ainsi synthétisé par la machine n'aurait aucun rapport avec celui dont il serait issu.

Il est, en effet, très difficile de relier un son entendu avec les paramètres physiques qui le décriraient entièrement : il existe une « dimension psychologique » liée à l'oreille, influencée par certaines fréquences de partiels, et qui fait dire qu'un piano accordé juste jouerait faux ! Un musicologue canadien, Stéphane Chabrel, estime que le phénomène est identique au niveau d'une pièce musicale et que si l'on « entrait » dans un ordinateur les résultats de l'analyse musicologique d'une œuvre de Mozart, on serait loin de pouvoir obtenir quelque chose d'écrit à la manière du maître de Salzbourg. D'une part, parce que les analyses musicologiques actuelles sont encore trop élémentaires, mais aussi parce que tous les phénomènes conscients ou inconscients de la composition musicale sont encore très mal connus.



Un séminaire portant sur l'inventaire des possibilités de l'ordinateur en matière musicale. a été récemment conduit par Pierre Boulez (assis, et muni d'une crayon à lumière) à l'Université Stanford, en Californie.

Une étude musicologique poussée, par ordinateur, représente un travail gigantesque. Pour coder chaque note d'une œuvre musicale, il faut en déterminer la hauteur, la durée, l'intensité, l'instrument qui la joue, et ce pour des milliers de notes. On tente actuellement d'introduire directement les données dans la machine par lecture optique des partitions, mais cette forme de lecture est bien plus complexe que celle touchant à l'analyse d'un texte typographique.

On a cependant commencé à appliquer à la musique les méthodes de la linguistique, et les études entreprises permettent de dégager, pour certaines œuvres, les fréquences d'apparition de chaque note, les probabilités de succession d'une note à l'autre ou d'un accord à l'autre, l'introduction de certains rythmes.

On parvient aujourd'hui, par exemple, à identifier chez Mozart ce qui fait son originalité et qui ne se découvre pas chez ses contemporains. Ainsi, chez Mozart, les changements de tons sont relativement rares ; il est, d'autre part, facile de les prévoir ; chez Chopin et chez Brahms, ils sont par contre imprévisibles. L'analyse des différences permet de décrire le style musical et d'établir, pour l'ordinateur, un programme lui per-

mettant de recréer ce style. Il pourra alors élaborer une œuvre pastiche qui permettra de contrôler la valeur de l'analyse.

Un groupe de recherche en sémiologie musicale vient ainsi d'être créé à l'Université de Montréal sous la direction de Jean-Jacques Nattiez. Ses objectifs : des études stylistiques d'œuvres musicales afin de déterminer les règles de combinaison entre les divers éléments musicaux. « Ces recherches, précise-t-on, doivent avoir un impact important sur l'enseignement de l'analyse musicale en rendant celle-ci plus précise. »

Du Québec au Plateau Beaubourg, l'ordinateur internationalise ainsi les voies nouvelles de la recherche musicologique.

L'ordinateur, gérant des sons

« Il faut clarifier de l'intérieur, écrit Michel Decoust, apprendre à gérer les sons électroniques comme Mozart savait gérer les sons instrumentaux ; cesser de se laisser mener par une matière incontrôlée sans savoir ce qu'il y a dedans ; sortir, enfin, du règne de la confusion... »

Ce n'est pas un mince problème. L'avènement du « synthétiseur », capable d'imiter les sons de n'importe quel instrument et d'en créer de nouveaux montrait que l'électronique était apparemment en mesure d'agir sur toutes les composantes acoustiques. Le son étant caractérisé par sa durée, sa dynamique, sa hauteur, son timbre, il n'y avait qu'à résoudre un problème purement technologique en enregistrant toutes ces informations sur des « blocs » séparés, fonctionnant en parallèle. Parce qu'il était possible d'obtenir aussi bien les sons tempérés qu'harmoniques, on pouvait par exemple déplacer toute une bande de fréquence autour d'une fréquence donnée et cette « usine à musique » paraissait pouvoir pétrir toute la matière sonore potentielle. Dans l'océan des fréquences audibles, l'exploration était illimitée.

Cependant, on ne peut se laisser mener sur l'océan des sons à l'image d'une caravelle partant découvrir une hypothétique Amérique. Vierges ou non, les terres inconnues doivent être abordées une à une avec des instruments précis de navigation. Or, le plus universel des instruments électroniques n'est point aussi parfait qu'on pouvait l'espérer ; les signaux de base n'existent qu'en nombre restreint et se bornent à des ondes périodiques de forme géométrique simple (sinusoïdes, signaux carrés ou en dents de scie). Les circuits électroniques imposent leur propre contrainte et la plupart des synthétiseurs ne peuvent jouer qu'une note à la fois.

En fait, c'est l'ordinateur qui, aujourd'hui, parvient à contourner les limites du synthétiseur en tentant d'apporter une solution à deux questions fondamentales : comment définir les sons à créer (et, en corollaire, constituer une « banque de données » englobant tous les sons déjà obtenus expérimentalement) ; et comment produire de la musique en « temps réel », au fur et à mesure de sa création.

Un son, nous l'avons vu, peut être défini par un certain nombre de paramètres que le « synthétiseur » se proposait de faire varier à la demande. Le signal sonore peut être également assimilé à une courbe décrivant, dans le temps, les variations de la pression acoustique. Cette variation est traduite par une variation proportionnelle de voltage à l'enregistrement (micro). Le rôle de l'ordinateur sera de calculer chaque point de la courbe, ce qui n'est évidemment pas simple. Le Dr Y.R. Pierce a calculé que l'onde électrique pouvait être déterminée avec une précision parfaite par une séquence de nombres de trois chiffres émis au rythme de 20 000 à la seconde ! Les résultats mathématiques du travail de l'ordinateur peuvent dès lors être présentés à l'entrée d'un convertisseur « digital-analogique » qui va reconstituer, à la demande, un signal électrique.

Un ordinateur moderne est tout à fait capable de produire une telle sortie, si l'on a su le programmer, mais il est évident que chaque famille de sons nouveaux exige une multiplicité de pro-

grammes. D'où l'intérêt d'un catalogue des sons consignait chaque expérience nouvelle.

Dans la pratique, les courbes servant de base aux calculs de l'ordinateur pourraient être modifiées directement sur une console graphique à l'aide d'un crayon à lumière, comme on le fait déjà dans l'industrie pour certains plans trois-vues d'avions ou de carrosseries automobiles.

Ces recherches ne peuvent être menées que conjointement à des études d'acoustique musicale développant des moyens de caractériser les sons musicaux avec le moins de paramètres possibles.

Le programme Music V

En principe, il faudrait une foule de programmes d'ordinateur pour générer des ondes sonores nouvelles. C'est cet inconvénient que permet d'éviter le programme Music V, conçu aux laboratoires Bell (et qui a déjà permis la réalisation d'une œuvre importante « Tripla Decima », due à Gérald Strange).

L'utilisateur dispose de tout un ensemble de générateurs qui sont, en fait, des morceaux de programmes indépendants, capables d'effectuer certaines manipulations. L'un peut, par exemple, créer des ondes périodiques parfaitement définies, un autre peut agir sur l'intensité des sons. Un autre encore additionner les signaux ou les filtrer, etc.

Un manuscrit de musique d'orchestre sera ainsi composé d'une multitude de graphiques portant en coordonnées les variations de fréquences et d'amplitude caractéristiques des sons requis par chaque instrument. Ces graphiques sont traduits en chiffres mis sur cartes perforées. Ce travail préparatoire ne se distingue pas fondamentalement de celui requis pour un synthétiseur classique.

La grande différence, cependant, est qu'avec le programme Music V, l'instrument devient polyphonique, pouvant jouer simultanément plusieurs notes. L'enveloppe des sons est contrôlable avec la plus grande précision. Les signaux de base peuvent prendre toutes les formes désirées, leur période pouvant être précisée point par point.

Le matériau musical élaboré par l'ordinateur peut, en sortie, passer de la forme digitale à la forme analogique pour enregistrement sur bande magnétique. Le texte musical est alors révélé grâce à un magnétophone.

Ainsi l'ordinateur devient un puissant outil de travail, créateur d'une expression musicale nouvelle. Et la signification de cette voie est bien soulignée par Michel Decoust, dans une déclaration reprise par notre confrère *Le Monde* : « Ce n'est qu'en développant le sentiment de la recherche à la base que l'on obtient une société évoluée. Une société qui ne pose pas, par exemple, la question idiote de savoir si la musique électronique possède une âme. »

Luc FELLOTT

HAUTE FIDÉLITÉ... mais à quoi ?

● En toutes choses, l'expérience montre qu'on évite bien des discussions si on prend la précaution de définir les termes qui sont en cause. Le Larousse du XX^e siècle nous apprend que la « fidélité », en parlant de personnes, est l'exactitude à remplir ses engagements, à tenir ses promesses ; en parlant de choses, « fidélité » est synonyme d'exactitude, de vérité... Lorsqu'il s'agit de « haute-fidélité », ces définitions sont assez inadéquates. Le mot « fidélité » appelle plutôt ici le concept de ressemblance, de conformité, d'identité avec un « modèle », avec un original qui sert de référence. Mais on bute dès le départ sur un problème quasi insoluble. S'il est en effet facile de porter un jugement de similitude sur une copie en peinture, de la Joconde par exemple (il suffit de la comparer avec l'original du Musée du Louvre), où est donc, lorsqu'on parle de fidélité sonore, l'original d'un son de violon, d'un quatuor à cordes, d'une

symphonie ? Est-ce ce que perçoit le musicien exécutant, le chef d'orchestre ou l'auditeur dans la salle ? Mais quelle salle et à quel endroit dans celle-ci ? Et si le jugement était porté par une personne qui n'a jamais écouté de musique de violon, de quatuor ou d'orchestre en direct ?... L'original, la référence, ne serait-ce pas alors tel disque écouté sur telle chaîne ? Mais, dans ces conditions, la référence variera d'une personne à l'autre...

Que l'on se console ! Ce qui est en cause ici, c'est de la musique « en conserve », passée à travers toute une chaîne de fabrication aux nombreux maillons et composants électroacoustiques : par ce canal, on n'aura jamais de fidélité absolue, car chacun sait que tout maillon électroacoustique rajoute son bruit de fond, ses parasites, ses distorsions de toutes sortes. Avec une telle copie, on n'aura jamais l'original. Mais si on ne peut avoir l'original que l'on aime, cela n'empêche pas d'aimer

la copie que l'on a. En dernière analyse, l'important est que celle-ci ne détruise pas trop le message véhiculé.

L'oscilloscope et ses limites

Les techniciens qui fabriquent des chaînes électroacoustiques apprécient les distorsions avec un appareillage et des méthodes maintenant classiques. Il fait des mesures, relève des courbes de réponse et compare ses résultats à des normes définies en grandeurs physiques précises. Ses soucis sont la précision des mesures, l'identité des composants et maillons avec la norme, la fiabilité. Tout cela est traduit en chiffres, ce qui, comme chacun sait, est rassurant.

Mais le consommateur se moque des chiffres — sauf s'il est lui-même quelque peu technicien de l'électroacoustique ; il écoute le résultat final avec ses oreilles et cette « haute-fidélité subjective » reste un concept flou : c'est ce qui plaît le plus, notion qui échappe à toute mesure physique. Si les tests physiques des uns ne convainquent pas toujours les autres, il est intéressant de tenter une analyse des raisons de cette mésentente.

Pour le technicien de l'électroacoustique, les outils classiques sont l'oscillographe, le générateur basse-fréquence, l'enregistreur de niveau, l'analyseur de fréquences... Lorsqu'on eut démontré que le son était un « objet » à trois dimensions (Moles), intensité, fréquence, durée, toutes dimensions mesurables désormais avec la précision désirée, l'idée se fit que la « mesure » objective de la « fidélité » pourrait devenir une réalité. Il suffisait de faire entrer dans un maillon ou dans une chaîne un signal acoustique bien calibré et de remesurer ses dimensions à la sortie. C'est ce qu'on fait avec les signaux sinusoïdaux continuellement variables avec lesquels on explore la « réponse » de l'élément testé.

Il suffit dès lors de définir les limites acceptables en pratique pour des besoins déterminés : on disposera ainsi de normes qui serviront de référence pour tester les maillons ou chaînes à construire ou à étudier. Le problème de la haute-fidélité objective semble ainsi virtuellement résolu.

Cependant, quelques observations s'imposent. On teste un maillon en y envoyant successivement une série de signaux élémentaires et on obtient un certain résultat. Mais si on envoie *simultanément* plusieurs de ces signaux, les résultats seront-ils identiques ? Il est aisé de prédire que non, et la raison en est simple. Prenons le cas d'un microphone dont nous relevons la courbe de réponse en l'excitant avec une suite de sons sinusoïdaux délivrés par un générateur basse-fréquence. Si les sons sont émis simultanément, ils vont interférer de manière complexe, produisant selon le cas des familles de battements, de différentiels, des atténuations par opposition ou décalage de phase. Tous ces phénomènes ne préexistent pas dans les signaux élémentaires de base.

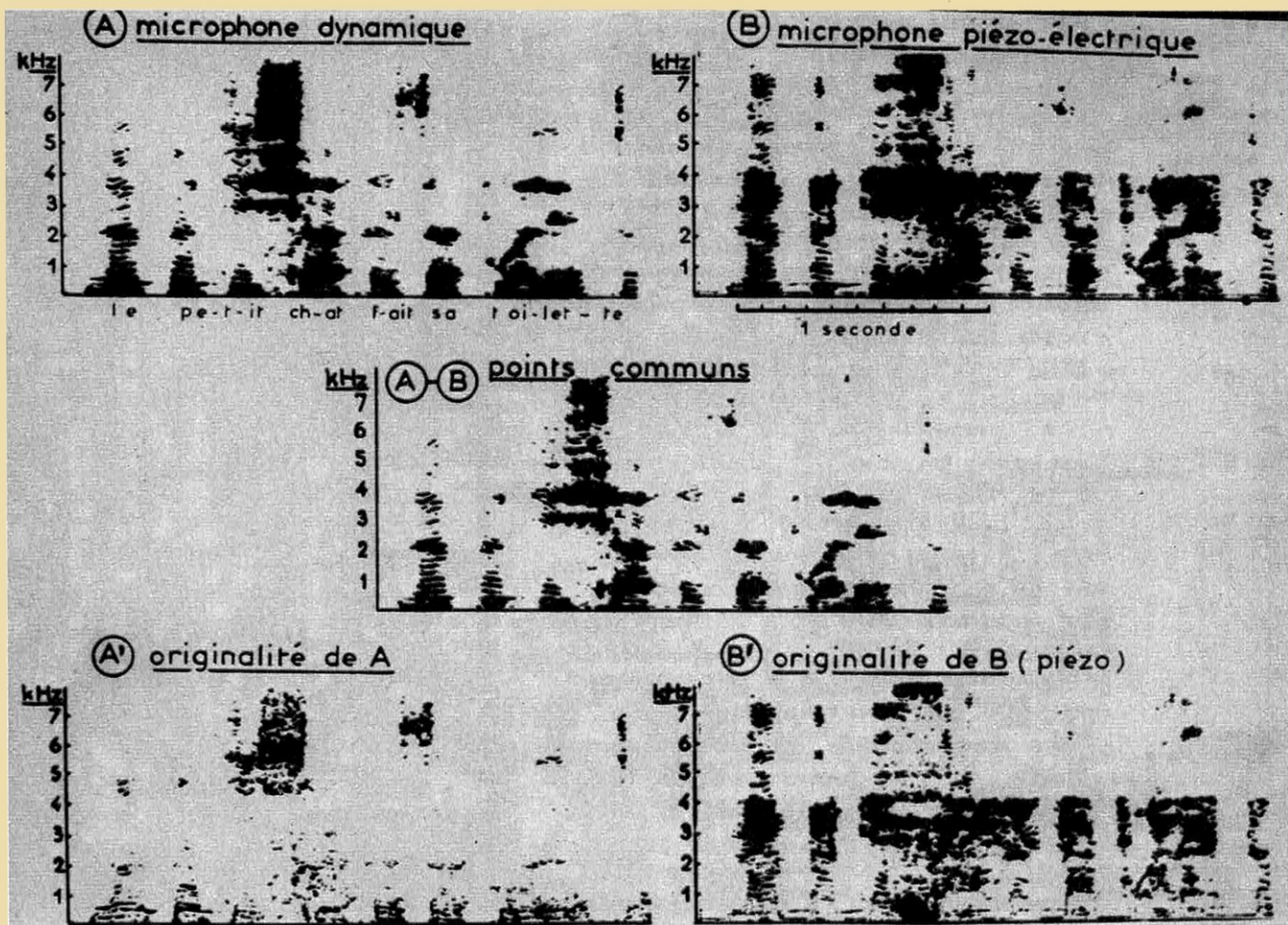
Acoustiquement, un tout n'est donc pas égal à la somme pure et simple de ses parties. Or les sons réels de notre environnement ne sont précisément pas des sons simples ; ils sont de surcroît évolutifs et on comprend pourquoi une courbe de réponse classique ne peut être une garantie de transmission fidèle d'un phénomène acoustique normal (musique ou parole).

D'autres objections apparaissent. Beaucoup de spécialistes se préoccupent du problème de la phase. Celle-ci a un sens précis, évident, pour des sons sinusoïdaux ; mais qu'est-ce donc que la phase de la parole normale ou de la musique ?

Autre point important, si l'on réalise une chaîne avec des maillons testés selon les normes et que tous ces maillons soient parfaits, le résultat final sera certes bon. Mais la réalisation d'un microphone ou d'un amplificateur « parfaits » est une opération onéreuse... N'est-il pas plus intéressant de réaliser un microphone imparfait, donnant par exemple trop d'aigus, et de l'associer à un amplificateur qui présente le défaut inverse ? Une compensation se fera et le résultat final peut être aussi bon, et cela à moindres frais.

Des « images » acoustiques

L'ennui sera évidemment l'impossibilité d'utiliser le microphone avec un enregistreur et des ampli quelconques.



Plus que les mesures classiques, le sonographe fournit des images sonores proches de la réalité sensorielle.

Quoi qu'il en soit, le problème est de tester le résultat final, le rayonnement acoustique d'une chaîne. C'est ce qui nous a amenés à mettre au point une méthode permettant d'obtenir un document objectif sur ce point, en utilisant la réalité, musique ou parole (*). Cette méthode est basée sur l'utilisation du sonographe, analyseur qui fournit une « image acoustique » des phénomènes réels, évolutifs, dans une séquence de musique ou de parole. Sur un sonogramme, on peut retrouver tout ce que l'oreille entend normalement (1). Comment peut-on l'utiliser pour « mesurer » la « haute-fidélité » ? Prenons à titre d'exemple le cas d'un microphone dynamique (A) et d'un microphone piézoélectrique (B) dont on se propose de comparer les performances. On enregistre simultanément sur un magnétophone stéréophonique de haute qualité la même phrase (« le petit chat fait sa toilette ») avec les

deux microphones. Puis on tire les sonogrammes respectifs A et B. La simple comparaison visuelle est en soi très éloquente. On vérifie que le microphone piézoélectrique fait perdre de l'énergie spectrale dans la région située entre 4 000 et 7 000 Hz (il sonne plus « grave ») ; de plus, il rajoute une « résonance », une « tonalité » assez désagréable dans la région de 2 000 à 4 000 Hz ; toute l'image devient plus floue pour B, etc. On vérifie ces particularités à l'audition.

On peut aussi utiliser la méthode photographique que nous avons mise au point et qui permet de cliver *les points communs* aux deux images. C'est la figure du milieu. On peut encore mettre en évidence les originalités respectives des deux microphones (A et B), qui confirment ce que le simple dépouillement visuel a donné. On peut même envisager un traitement automatique par ordinateur qui, moyennant une

(*) Les astérisques renvoient à la bibliographie en annexe de cet article.

(1) Le lecteur pourra se reporter à l'article « Acoustique musicale » paru dans le HS no 94 « Les Sons ».

« entrée son », permet de faire la même opération et de mesurer en unités informatiques (bits) la mauvaise fidélité du microphone piézoélectrique (**).

La même méthode permet bien entendu de comparer entre eux des baffles, des amplificateurs, etc. Et, si on dispose d'une « image normale » considérée comme le nec plus ultra, on peut ainsi chiffrer objectivement la haute-fidélité, soit de maillons, soit de chaînes complètes. Le problème est de définir cette « image normale » qui servira de référence.

Mais le problème, comme nous l'avons déjà vu, est de savoir ce qu'est la référence en reproduction sonore. Est-ce ce que l'auditeur perçoit de sa place lorsqu'il va écouter une symphonie au concert ? Mais les auditeurs de musique en direct ne sont qu'une infime minorité. La référence ne serait-elle pas offerte par le disque ? Mais, alors, quelle est la gravure « idéale » ? Et sur quelle chaîne va-t-on l'écouter ? Et, pour réaliser le test sonographique, dans quelle salle d'écoute fera-t-on l'enregistrement des images acoustiques ? Car le rôle de la salle est énorme, comparable à celui de la chaîne elle-même !... Et puis, la salle étant définie, quelle place choisira-t-on pour capter ce qui sort du baffle ? placé où, lui aussi ?

Qu'à cela ne tienne, diront d'aucuns : il suffit d'enregistrer les disques à comparer dans une salle sourde. Hélas ! ces conditions artificielles ne peuvent donner de résultats réalistes.

Supposons cependant qu'on ait résolu tous ces problèmes au mieux, en définissant une salle d'écoute normalisée correspondant à une sorte de « moyenne » des locaux d'écoute habituels. Le sonographe nous a fourni les images acoustiques réalistes de ce que rayonne la chaîne. Mais le problème ne sera pas résolu pour autant, parce que la musique est faite pour être entendue par un « récepteur » humain. La question n'est pas de savoir comment sont faites les images acoustiques mais ce qu'en *pense* le récepteur.

La décision finale

La décision finale reviendra donc au système auditif humain. On dispose sur ce dernier d'une information consi-



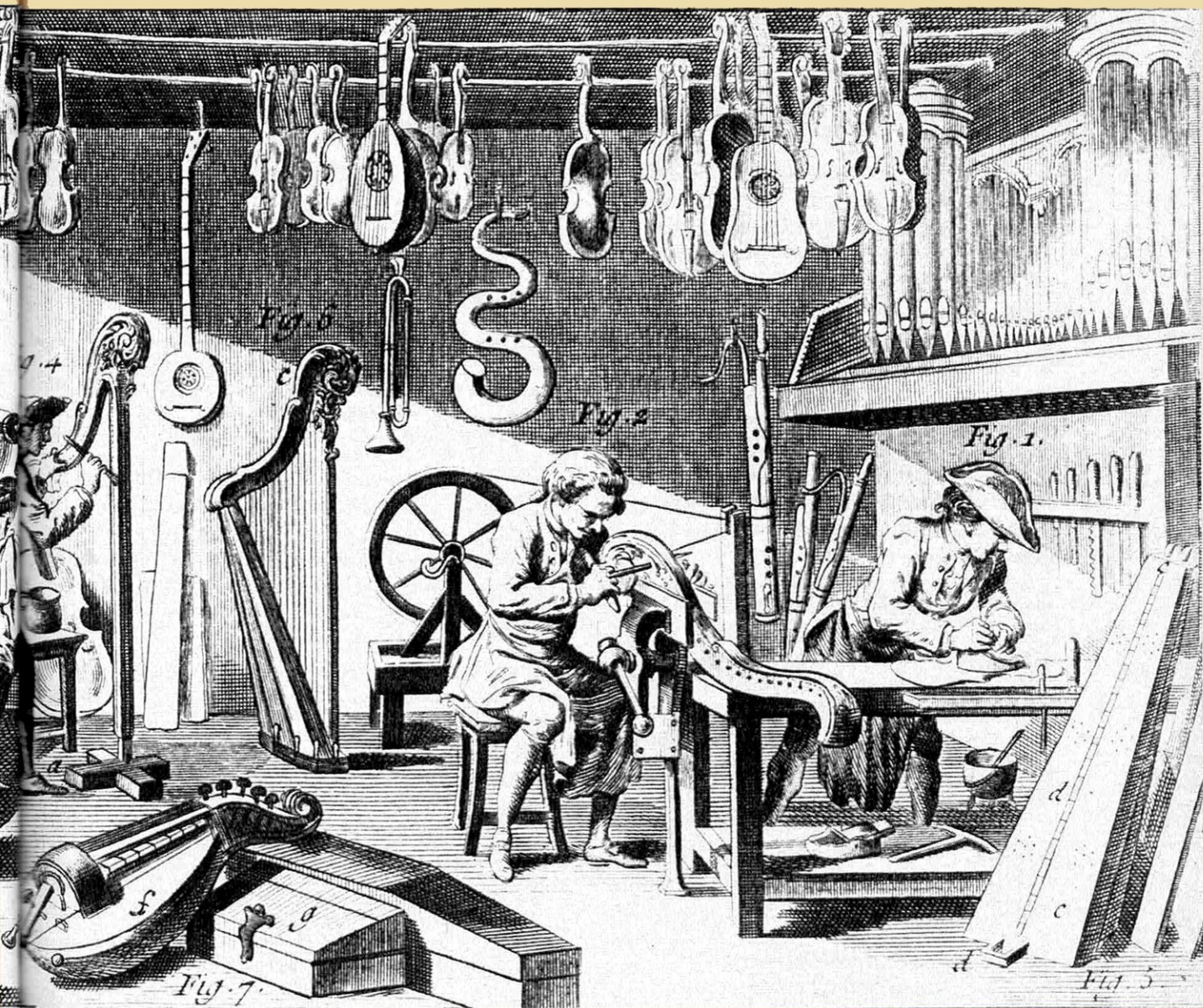
Roger Viollet

Depuis des siècles, les facteurs d'instruments d'ap

dérable que les spécialistes, anatomistes, physiologistes, psychologues, sociologues, etc... ont accumulé depuis des siècles.

Pourtant, si on sait de plus en plus de choses sur des points de plus en plus tenus du système auditif, on ne sait pas pour autant comment il fonctionne !... C'est la conclusion qui se dégage lorsqu'on lit les compte-rendus les plus récents des spécialistes. Ces spécialistes ne sont déjà pas d'accord sur des points « tangibles », sur des problèmes relevant par exemple de la mécanique. Comment le seraient-ils sur des problèmes neurologiques où l'on ne peut rien observer sans détruire les organes ?

Une approche fructueuse dans tous les



o appris à satisfaire l'oreille et l'intellect sans disposer des moyens modernes d'analyse des sons.

cas semblables consiste à imaginer un *modèle fonctionnel*, sans souci de ressemblance anatomique avec la réalité, mais qui puisse mettre en lumière les fonctions nécessaires et suffisantes permettant de simuler les réactions et performances du système auditif(***). Nous avons proposé depuis longtemps un tel modèle, élaboré sur la base de ce que font les praticiens du son depuis des siècles, en particulier les musiciens et les facteurs d'instruments, lesquels savent «jouer» avec le système auditif de façon optimale...

Nous considérons le système auditif comme un système informationnel, impliquant de façon indispensable des mécanismes de saisie, de stockage et de traitement des données de notre

environnement acoustique normal. La capture de l'information est le fait de l'oreille-organe (pavillon, conduit, tympan, osselets). Il s'agit d'un « microphone » très spécial, aux performances extraordinaires malgré la simplicité des moyens employés par la nature. Ce microphone est en effet asservi sur le signal grâce à un mécanisme de feed-back qui régule la raideur du système global, c'est-à-dire sa «réponse», en fonction de l'intensité du signal afférent. Les osselets et leurs deux muscles jouent ici le rôle de la pupille dans l'œil.

Grâce à cette régulation automatique, on évite la destruction du système lorsque l'intensité est trop forte ; de même, si le signal est très faible, on peut

« tendre l'oreille », c'est-à-dire régler sa sensibilité sur le phénomène, donc l'amplifier « subjectivement ». Grâce à ce dispositif, l'oreille normale a une dynamique très élevée...

En contrepartie, elle est incapable de « mesurer » l'intensité d'un signal extérieur, puisque l'intensité du signal perçu dépend de son contexte et de sa prévisibilité : un « mezzo forte » sonnera beaucoup plus fort après un pianissimo qu'après un fortissimo ; et si on voit le cymbalier lever les bras, on entend le coup de cymbale beaucoup plus faible que si on ne voit pas le musicien. On comprend donc pourquoi le sonomètre ou l'oscillographe, systèmes non asservis sur le niveau, ne peuvent rendre compte de la dynamique auditive...

Quoiqu'il en soit, les signaux captés par ce microphone étonnant doivent être envoyés vers le cerveau. Il faut donc transformer les vibrations mécaniques en signaux électriques. C'est le rôle de la cochlée. La cochlée est un convertisseur analogique-digital, transformant les vibrations aériennes, les « images sonographiques », en volées d'impulsions codées dont la configuration n'a plus rien à voir avec celle des sonagrammes.

Le traitement de l'information

Ces volées d'impulsions sont « visualisées » sur une « mémoire instantanée », la même séquence acoustique à l'entrée de l'oreille donnant à chaque fois la même configuration d'impulsions sur cette mémoire, dont la « longueur », normalement de quelques secondes, est variable à l'extrême selon les individus.

Si pour une raison ou une autre (motivation quelconque, association de plaisir ou de douleur avec des sons), telle image semble importante, elle peut être « retenue », c'est-à-dire transférée dans une autre mémoire dite transitoire, où elle est entreposée avec d'autres que l'on vient d'apprendre... A ce niveau s'exercera un tri, l'inventaire des « cartes » intéressantes et l'effacement, tel celui des « ardoises magiques », de celles qui ne le sont pas.

OREILLE EXTERNE OREILLE MOYENNE



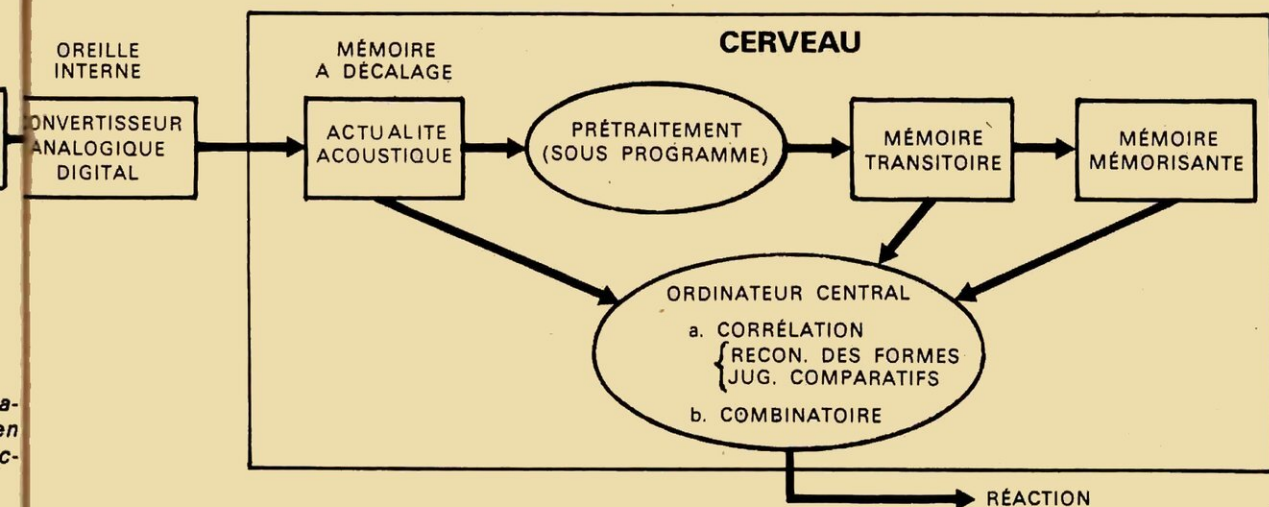
Un modèle fonctionnel du traitement de l'information acoustique par les centres nerveux. Il met en évidence l'importance de l'expérience et des facteurs culturels dans l'appréciation portée.

Si d'aventure une image stockée s'avère d'importance vitale pour l'individu, il faut éviter à tout prix son effacement accidentel. Elle est alors transférée dans une mémoire définitive dite mémorisante.

C'est dans la mémoire transitoire et mémorisante que sont stockées, à un moment donné de notre existence, toutes les « images mentales » que nous avons apprises comme « bonnes » ou « mauvaises », toutes les références qui vont nous permettre de porter un jugement comparatif avec ce qui pénètre dans la mémoire instantanée... La finesse des images stockées, leur nature, leur signification varient évidemment du tout au tout d'un individu à l'autre.

Le traitement de ces images sera réalisé par l'équivalent d'un ordinateur central. Porter un jugement relève d'une opération de comparaison, tout à fait semblable à celle dont il a été question à propos des sonagrammes : mise en évidence des points communs entre une référence et une image afférente ; mise en évidence du taux de destruction d'une image afférente par rapport à une référence stockée.

Tout cela est bien sûr très schématisé, mais il n'en reste pas moins que le jugement de haute-fidélité subjective est la réaction à la sortie de ce système informationnel. Comme cette réaction dépend des performances du capteur, de la finesse, de la durée des mémoires et du contenu de celles-ci (qui est fonction du milieu socio-culturel du



sujet), on comprend sans peine pour quelle raison les jugements portés sur des chaînes de reproduction, sur des gravures, etc. diffèrent tant d'un individu à l'autre.

Haute-fidélité sur mesures

Dans ces conditions, est-il pensable de pouvoir fabriquer une chaîne haute-fidélité susceptible de satisfaire tout le monde ? En principe, c'est une vue de l'esprit. Mais on réussit déjà à satisfaire un grand nombre d'utilisateurs par la simple incorporation d'un réglage de l'intensité et de filtres passe-haut et passe-bas (réglage de tonalité). On pourrait faire mieux encore, en permettant à chaque auditeur d'adapter la courbe de réponse de l'appareillage à la courbe de réponse de son oreille. Technologiquement, la chose est possible : au lieu d'un filtre passe-haut et passe-bas, il suffirait de disposer un filtre du type « tiers d'octave » susceptible de modeler à loisir la courbe de réponse de l'appareil. Pour ceux qui auraient une perception trop fine du temps et qui sont gênés par de petits phénomènes temporels très « serrés » tels que grésillements, etc., il suffirait d'incorporer une réverbération artificielle réglable, permettant de « flouter » les images rayonnées par la chaîne... Tout cela en augmenterait certes le prix de revient, mais permettrait de faire du « sur mesure » avec un appareil standard...

Une chaîne électroacoustique est une machine à fabriquer des phénomènes

sonores. On sait désormais mesurer toutes les dimensions de ceux-ci en grandeurs physiques bien définies ; on sait aussi « photographier » les images acoustiques correspondant à ces phénomènes. Traiter ces images par voie photographique ou informatique est une opération simple. On peut supputer que notre système auditif procède de cette façon, et le modèle fonctionnel que nous avons proposé représente de ce point de vue un « outil à penser » les problèmes de la haute-fidélité de façon raisonnable et réaliste.

Si la fidélité absolue reste une vue de l'esprit, la haute-fidélité relative et individuelle est à portée de main : il suffirait de quelques rajouts technologiques aux chaînes actuelles pour satisfaire les auditeurs les plus difficiles, en leur permettant de réaliser la « sonorité » qu'ils préfèrent. Car la haute-fidélité, c'est la sonorité qui plaît le mieux.

Emile LEIPP

Bibliographie

(*) LEIPP : *Nouvelle méthode d'appréciation de la qualité d'une chaîne haute-fidélité*. Journées d'étude du Festival international du son, Chiron, Paris (1964).

(**) LEIPP : a) *Méthode de corrélation optique pour comparer deux événements acoustiques*. Journées d'étude du Festival international du son, Chiron, Paris (1972) ; b) *Traitement optique de l'information acoustique : corrélation et autocorrélation*. Revue d'Acoustique, n° 26, Paris (1973).

(***) COLLECTIF : *Facts and Models in hearing*. Communications réunies par Zwicker et Terhardt. Springer Verlag, Berlin (1974).

LA PRISE DE SONS MUSICALE

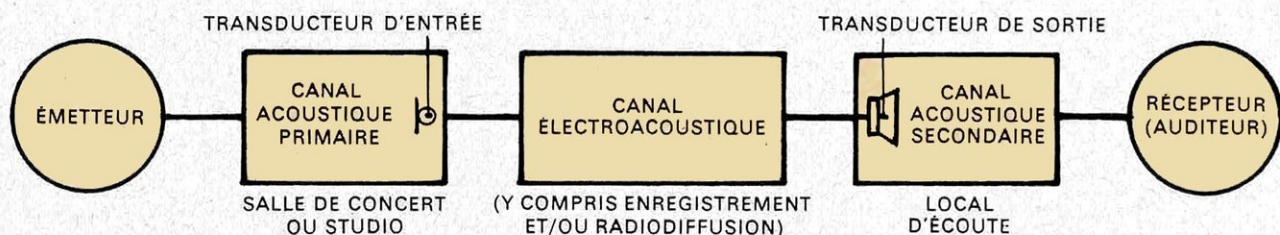
A mi-chemin de l'empirisme et de la rigueur scientifique, la prise de sons musicale joue un rôle de pivot trop souvent méconnu, dans la transposition du message musical de l'interprète au « consommateur », par le canal du disque comme de la radio. Dans certains cas, même, le « preneur » de sons devient un véritable interprète, grâce aux aides électroacoustiques dont il dispose aujourd'hui.

● Combien d'auditeurs, à l'écoute de leur programme préféré à la radio, ou de leurs disques, pensent à ce maillon, inévitable, délicat, nécessaire, que constitue la prise de son ?

Quel que soit le titre qu'il porte sous les diverses latitudes, tâchons de voir la place occupée par le *preneur de son*, les problèmes qu'il rencontre, les possibilités de sa technique...

Ce qui est en question

Si l'on veut définir l'objet de la prise de son, il nous faut d'abord envisager l'ensemble de la chaîne de transmission du son. La théorie nous apprend qu'il y a, au départ, un *émetteur* de message (le compositeur), qui envisage de provoquer une réaction chez un *récepteur* (l'auditeur). L'émetteur codifie son message sur une partition. Ce code est décrypté par les musiciens exécutants, qui rendent audible le message au moyen de leurs instruments. Ces machines à faire des sons constituent la source sonore. Dès la sortie



Parmi les nombreux maillons qui composent, de l'émetteur au récepteur, la chaîne de transmission,

trois canaux préoccupent le preneur de son. Chacun d'eux peut apporter des déformations.

**L'Orchestre National
se prépare
à enregistrer les Variations
sur un thème de Paganini
de Rachmaninov.**



de l'instrument de musique, le son aborde le canal par lequel le son parvient au récepteur. Ce canal va, par définition, apporter des déformations.

Il peut s'agir :

— d'une transmission directe aérienne : c'est la salle de concert ;

— d'une transmission indirecte : c'est la chaîne électroacoustique ;

— ou encore, de la transmission directe par ondes hertziennes, c'est-à-dire la radiodiffusion, cette dernière utilisant également la chaîne électroacoustique.

Le preneur de son se situe au départ de la chaîne électroacoustique ou de la transmission hertzienne. De son point de vue, la chaîne de transmission suppose toujours une source sonore, un local de prise de son, un ou plusieurs microphones, un local d'écoute et des auditeurs. Il convient évidemment de partir de l'hypothèse gratuite, mais importante, que la musique est faite pour être entendue. Le problème est à peu près identique pour la transmission à travers l'espace (radiodiffusion) ou à travers le temps (disques, bandes magnétiques).

L'objet de la prise de son musicale sera de transmettre, avec la plus grande fidélité possible — c'est-à-dire sans trop de déformation — le message du compositeur. Cependant, quelle que soit la qualité du canal, il existe quelque chose qui ne peut être transmis. Il s'agit de l'« écoute intelligente », signalée par von Békésy et par Cherry.

Dans une salle de concert, en effet, l'auditeur peut concentrer son attention sur un instrument donné et reléguer au second plan les autres informations sonores. En bref, l'auditeur écoute avec ses deux oreilles et son cerveau. Mais, lorsque la musique lui est retransmise par un seul haut-parleur, il n'a plus cette possibilité de sélection spatiale du message.

C'est le preneur de son qui doit faire émerger, de la masse sonore, les effets qui sont normalement ressentis lors de l'écoute intelligente par un auditeur placé dans la salle. Pour en arriver là, la transmission doit « tricher » dès l'origine. Le preneur de son ne peut pas reproduire la réalité, il doit la *transposer*.

Si l'on considère la monophonie, on constate qu'il s'agit d'une réduction (monophonique) à un seul endroit (le haut-parleur) d'un espace sonore (qui est stéréophonique par nature : local, théâtre, salle de concert, plein air, etc.). En

conséquence, il s'agit bien d'une technique qui consiste à transposer un système de références comportant un certain nombre de repères (l'espace sonore) en un autre système de références comportant un nombre moindre de repères.

Même la stéréophonie (moyen d'expression sans doute plus riche en possibilités que la monophonie) reste essentiellement une technique de transposition (par le moyen de deux ou quatre haut-parleurs), plutôt que la reproduction fidèle de l'espace sonore. La stéréophonie permettra toutefois à nouveau l'exercice de l'écoute intelligente par la « *spatialisation* » du phénomène sonore.

Ainsi, la transposition sera la mise en œuvre de procédés ou d'artifices visant à reconstituer, pour l'auditeur, l'illusion de la réalité sonore.

Quant à la *restitution du son*, elle sera le procédé qui consiste à capter le son produit en un point déterminé et à le restituer soit en un *autre point* (émission radio, disques, etc.), soit au *même point* (sonorisation) ; soit au *même moment* (émission directe), ou à un *autre moment* (émission différée).

Divers modes de présentation spatiale

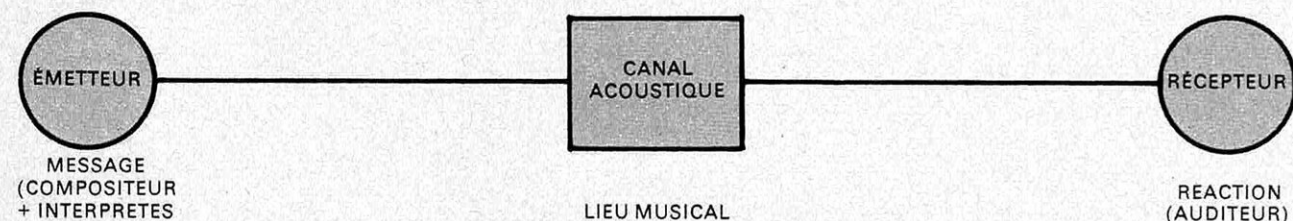
On peut définir plusieurs systèmes de restitution sonore :

Monauriculaire : un ou plusieurs microphones, connectés à un seul canal transducteur, aboutissent à un ou deux écouteurs (cas le plus simple : le téléphone). Ce système est du type « en circuit fermé », où l'oreille de l'auditeur est transportée à l'emplacement du microphone par la combinaison microphone-canal-écouteur.

Il n'y a que les qualités acoustiques du local où se trouvent les micros qui entrent en ligne de compte.

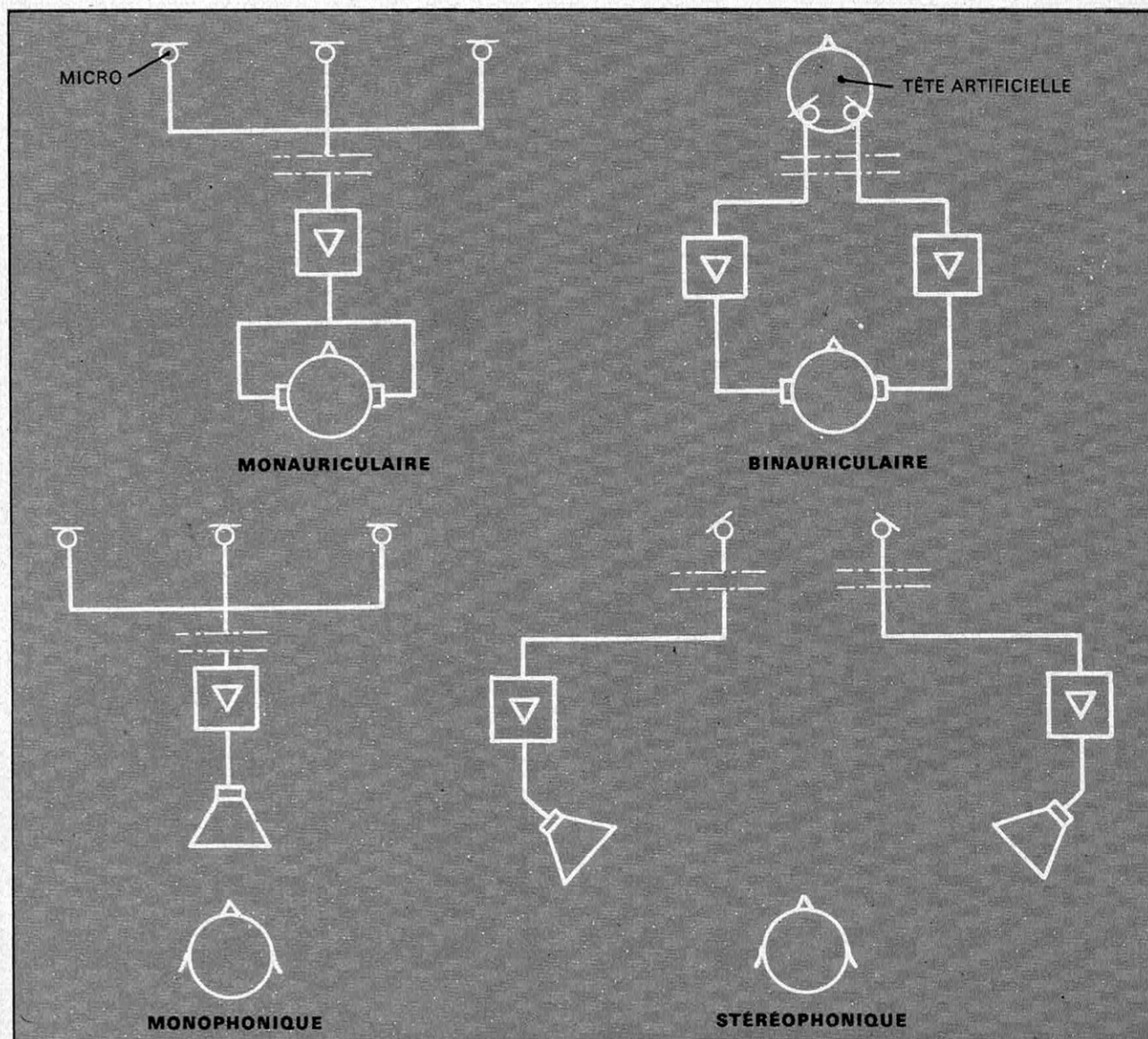
Binauriculaire : système « en circuit fermé » dans lequel deux microphones reprennent les sources sonores et sont reliés à deux canaux transducteurs indépendants, lesquels aboutissent à deux écouteurs indépendants portés par l'auditeur. L'usage n'en est pas très répandu. C'est le procédé dit de la « tête artificielle ». L'auditeur est transporté à l'emplacement de la tête artificielle par la combinaison microphones-canaux-écouteurs. Ici aussi, seules les qualités acoustiques du local primaire entrent en ligne de compte.

Monophonique : système de restitution « en champ acoustique ». Un ou plusieurs microphones reprennent les sources sonores. Ils sont



Pour l'auditeur en salle, la chaîne de transmission du message est simple. Il s'agit d'une transmis-

sion directe aérienne. Les déformations n'auront pour origine que les qualités acoustiques de la salle.



Les quatre principaux systèmes de restitution sonore. La tête artificielle commence à être utilisée.

reliés à un seul canal transducteur, lequel aboutit à un ou plusieurs haut-parleurs. Le son est pris dans un champ et restitué dans un autre champ. Les caractéristiques acoustiques de deux locaux entrent en ligne de compte : le primaire, où se trouvent les sources sonores ; le secondaire, où il est reproduit.

Stéréophonie : système de restitution « en champ acoustique ». Deux ou plusieurs microphones captant les sources sonores sont reliés à un nombre correspondant de canaux transducteurs, lesquels aboutissent à autant de haut-parleurs, disposés selon un plan géométrique analogue à celui des microphones. C'est pour des raisons d'économie et de commodité que ce système a été ramené à deux ou quatre haut-parleurs.

Les tâches du preneur de son

Dans la pratique, la prise de son est une opération visant à assurer la conversion du mes-

sage musical original en un simple (monophonie) ou double (stéréophonie) signal électrique. Le preneur de son donnera une *re-présentation* de l'œuvre, en tenant compte des variables de la dialectique particulière : fond — forme — interprétation, dans laquelle il jouera son rôle d'interprète en étroite collaboration avec les musiciens ou le chef d'orchestre. Ainsi, l'unité dans la totalité de l'interprétation permettra d'atteindre à l'unité dans la représentation globale enregistrée.

Il importe donc que le preneur de son soit un musicien éprouvé, doué d'une excellente oreille, possédant une bonne culture générale et de larges connaissances dans tous les domaines de l'acoustique et de l'électroacoustique. L'*acoustique psychophysologique* retiendra particulièrement son attention, car il doit prévoir les réactions de l'auditeur. En outre, comme nous allons le voir, tout est très subjectif en ce domaine. En forçant un peu le rapport, on pourrait dire qu'il y a, en prise de son, vue dans sa finalité esthétique, 80 % de psychophysologie et 20 % seulement de technique.

(suite page 70)



Le quatuor Parrenin, page de droite et ci-dessous, au travail à la salle Wagram pour la firme Pathé-Marconi. Au piano, J.-Ph. Collard. En haut de page, les musiciens s'écoutent dans le local de prise de son.





Pour atteindre à l'impression d'objectivité, le preneur de son effectue plusieurs tâches.

Selon l'environnement acoustique de la salle de concert, il apprécie la disposition de l'ensemble musical ; éventuellement, il apporte quelques modifications à la disposition habituelle. Il implante les microphones. Il traite et dose, au moyen d'une console de mélange, les informations sonores recueillies. Simultanément, il règle le niveau global et juge le résultat au travers d'une chaîne d'écoute, en tenant compte de l'acoustique de son local de régie et en pensant au destinataire : l'auditeur.

Voilà qui paraît simple. Et cependant, chaque opération sera l'application raisonnée d'une série de principes éprouvés lors d'expériences précédentes. A l'inverse, le travail d'un preneur de son apparaît souvent, pour le profane, comme relevant d'une intuition, d'une suite de tâtonnements. Et l'auditeur, qui, généralement, ignore cette intervention de l'homme et de sa technique, aura l'impression de recevoir, pour lui seul, dans le confort de son écoute personnelle, une vérité objective, une copie conforme de l'événement sonore.

Le lecteur familier des salles de concert se sera peut-être déjà demandé pourquoi les microphones ne sont pas implantés à cet endroit de la salle où il a l'impression de recevoir le message sonore dans toute sa perfection. Mais, si l'on implantait les microphones à l'emplacement de ce « fauteuil idéal », le résultat obtenu serait extrêmement décevant, même pour l'auditeur le moins averti.

On relèverait, en effet, de nombreux défauts, tels que confusion exagérée (analogue à celle que l'on perçoit dans les couloirs attenants à la salle), manque de définition, perspective trop lointaine. Cet enregistrement, qui aurait dû assurer une retransmission particulièrement objective, est franchement mauvais en regard d'un enregistrement *dit* objectif.

Cette situation paradoxale s'explique.

- Entre un microphone et une oreille humaine, il y a une énorme différence. Le premier est un appareil physique précis, mais sans aucun pouvoir de discrimination. Il capte tout en vrac, et transmet telle quelle l'information, utile comme inutile. L'oreille humaine, par contre, est un instrument de perception psychophysique. Elle a d'étonnantes performances. Elle peut discriminer très finement, extraire l'utile ou l'intéressant du fatras d'informations qui la frappent.

- L'endroit où s'opère l'écoute (au premier chef, une salle de séjour, mais ce peut être aussi une automobile, une cuisine, etc.) n'a aucune ressemblance avec la salle de concert ou le studio ; l'environnement original a été supprimé.

- On subit, en outre, le phénomène des salles couplées dû à la liaison du local primaire (salle ou studio) au local d'écoute par le canal électroacoustique. Et l'influence des enceintes acoustiques n'est pas négligeable.

- Il y a les imperfections apportées par le canal de transmission.

- L'écoute intelligente est fortement compromise en monophonie, et partiellement en stéréophonie. L'image du haut-parleur « trou dans le mur » est bien connue et parle d'elle-même. Ce « trou » nous donne bien quelques indications sur la salle, mais ne transmet pas les sensations ressenties par l'auditeur installé dans son fauteuil.

- Enfin, la dynamique d'un enregistrement avec des micros éloignés des sources sonores serait trop étendue. D'où la disparition des nuances faibles (*pianissimo*) dans le bruit ambiant du local d'écoute, tandis que les nuances fortes (*fortissimo*) pourraient être difficiles à supporter et risqueraient de gêner les voisins.

Tous ces paramètres sont contraignants, et obligent le preneur de son à employer une gamme de moyens pour assurer, ou du moins suggérer, une transposition de l'information originale qui puisse s'inscrire dans les limites d'une salle de séjour, tant au point de vue spatial que dynamique.

Il le fera, notamment, en rapprochant les microphones de la source sonore, ce qui apportera précision et définition. Si l'environnement acoustique est correct, et en fonction du caractère de l'œuvre, cette implantation sera choisie de façon à obtenir le meilleur rapport entre les sons directs (provenant de la source) et les sons indirects réfléchis par les parois.

Quant aux plans sonores, ils seront établis en vue de créer une perspective correcte. La dynamique sera adaptée afin que le programme se situe dans les limites permises, tant du point de vue des exigences techniques, que de celui du confort des auditeurs (et de leurs voisins).

La prise de son « objective »

Il va de soi que ce que nous appelons retransmission, ou restitution, *objective*, s'adresse tout particulièrement au répertoire « classique ». Nous entendons par là toutes les œuvres composées avant l'emploi des moyens électroacoustiques, ou les œuvres actuelles qui sont écrites dans un style traditionnel et utilisent les instruments ou les voix de façon naturelle.

Cette remarque en appelle une autre : le preneur de son, sous peine de faute de goût, devra tout mettre en œuvre pour respecter le caractère authentique de l'œuvre. Il devra donc bien connaître les époques, les styles, les genres... La « mise en page » d'un instrument comme le clavecin, par exemple, sera totalement différente selon qu'il s'agit de littérature ancienne ou moderne, d'une basse continue, d'un concerto de Bach ou de celui de Falla. Pensons aussi à l'évolution du concerto, aux lieder, tellement différents, d'un Schubert, d'un Schumann ou d'un Wolf, ou aux multiples facettes de la littérature pour le piano. Une suite contrapuntique pour cordes de Bach se traitera d'une autre façon qu'une Sérénade pour cordes de Tchaïkovsky.

Cependant, il faut dire que nous sommes ai-

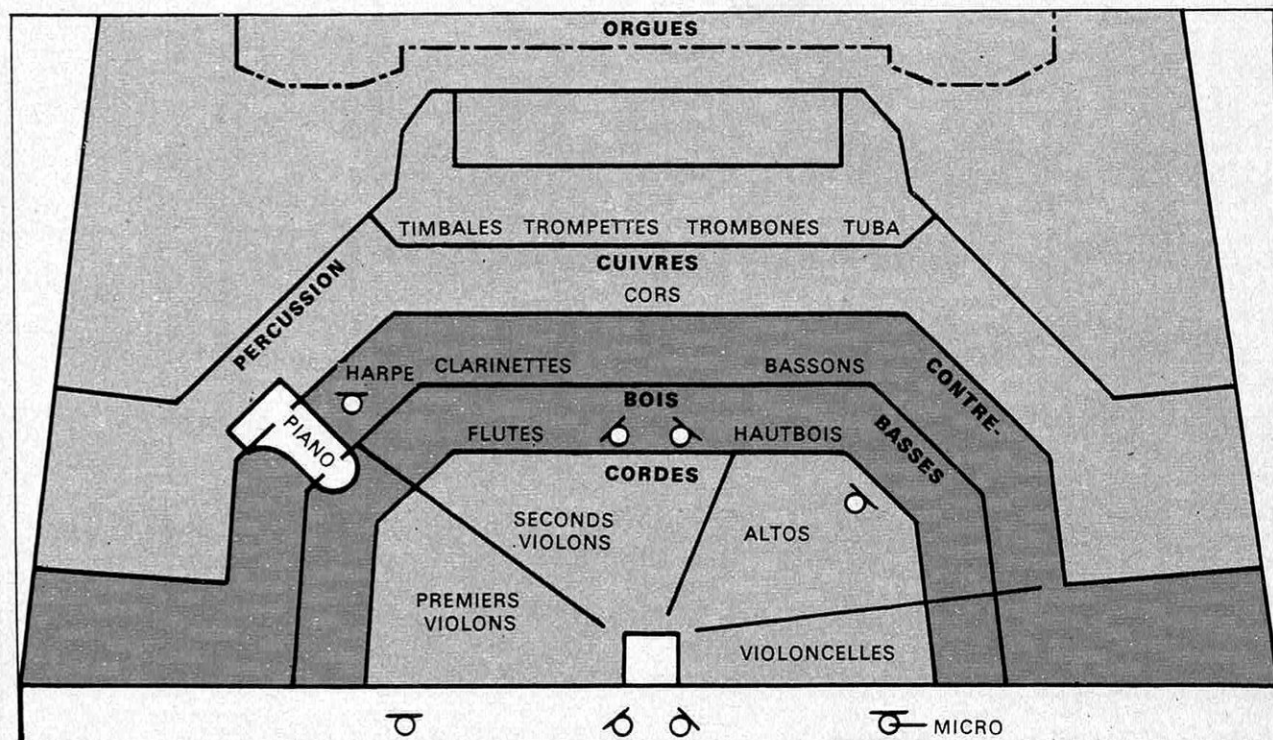
(suite page 74)



Photo Karpaert-Bruxelles.

Le podium d'un grand auditorium (15 000 m³) pour radiodiffusion. La disposition orchestrale et l'implantation des micros sont de type classique (restitution dite objective). Sur la photo, on dis-

tingue les divers groupes d'instruments, leur emplacement et leur étagement. On aperçoit les micros et les « girafes » articulées qui les supportent. Elles peuvent être actionnées depuis la régie.







***La prise de son
d'un grand orchestre
(ici, l'Orchestre National)
implique la restitution,
ou au moins
la transposition,
du caractère d'espace
que produit
la salle de concert.***

dés, dans ce répertoire « classique », par le fait que les compositeurs ont écrit une partition équilibrée quant au rapport des forces en présence. L'orchestration en a été soigneusement élaborée. C'est donc, d'abord, l'affaire des exécutants et du chef d'orchestre de réaliser cet équilibre.

Selon les cas, le preneur de son pourra intervenir et obtenir une modification dans les nuances, celle-ci étant parfois motivée par l'environnement acoustique. En effet, l'équilibre sonore, un des soucis majeurs du preneur de son, peut être gravement compromis par le caractère acoustique de la salle. On ne dira jamais assez l'influence de la salle ou du studio sur l'exécution d'une œuvre, d'une part ; sur la qualité des sons captés, d'autre part ⁽¹⁾.

Une remarque s'impose. Si le privilège des maisons d'édition de disques est de choisir l'environnement acoustique approprié au style des œuvres à enregistrer, les preneurs de son de radiodiffusion sont appelés à traiter tous les styles dans des environnements divers. Cela va du concerto pour piano dans une église, à une cantate de Bach dans une salle de cinéma ou une salle dite polyvalente.

Lorsque le preneur de son aura respecté les intentions du compositeur, l'interprétation du chef, des solistes et de l'ensemble des musiciens, lorsqu'il aura restitué une perspective naturelle et le climat acoustique associé, il donnera, alors, à l'auditeur, l'impression d'être installé dans le meilleur fauteuil d'une excellente salle de concert.

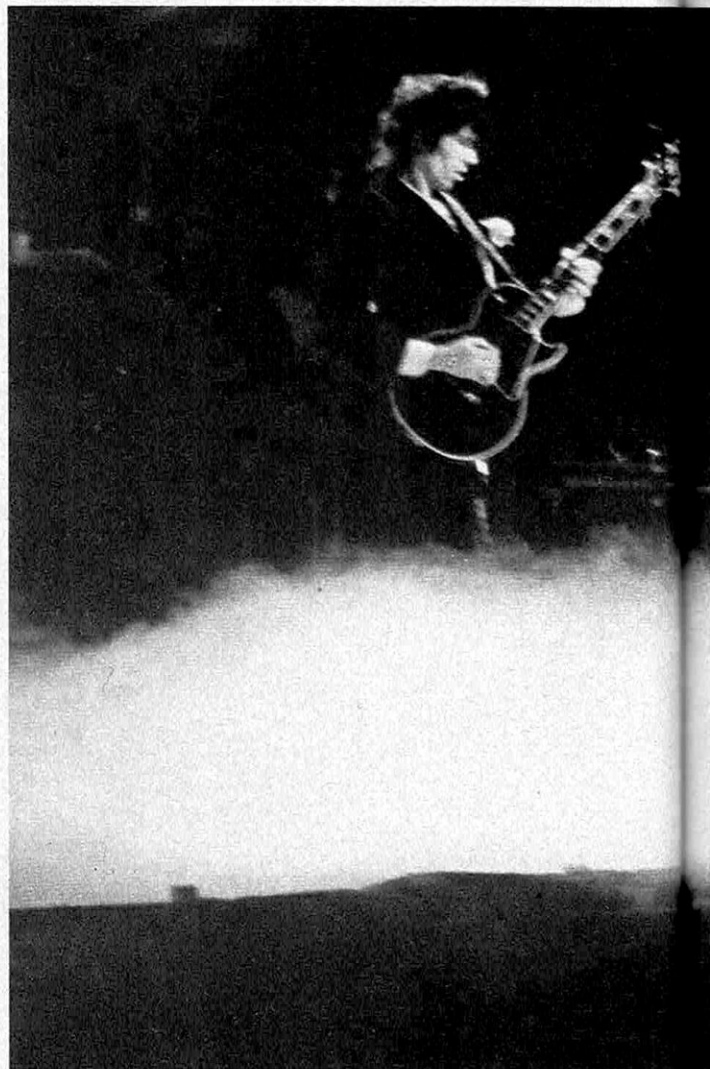
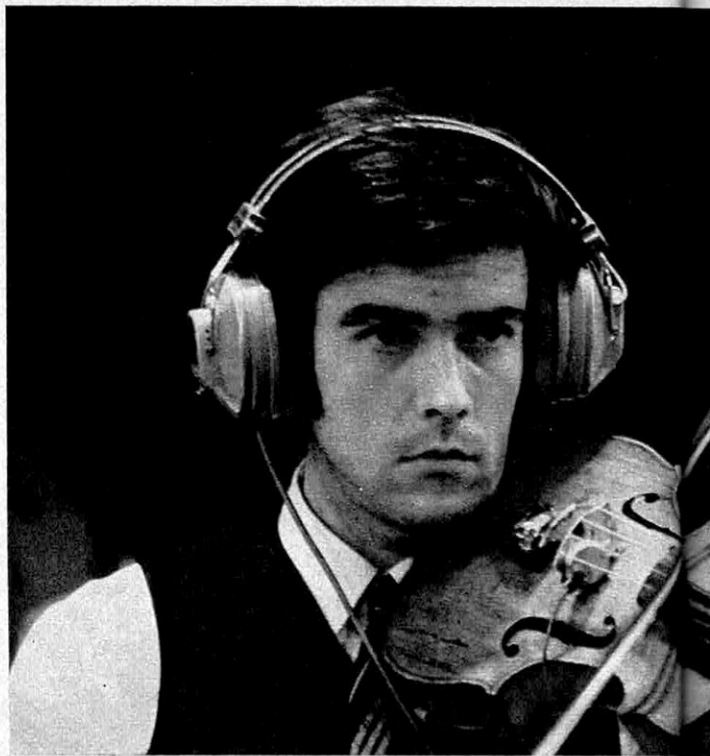
La prise de son « subjective »

A l'opposé, ce que nous appelons retransmission, ou restitution, *subjective*, concerne les prises de son où une grande liberté d'imagination est laissée au preneur de son. Ces *prises en ondes* sont destinées aux œuvres de musique contemporaine d'avant-garde, aux variétés, au jazz, à la musique « pop » et à toute musique qui ne réclame pas un effet global.

On sent, ici, l'apport créatif attendu du preneur de son par les compositeurs et les musiciens. Le matériel devient instrument à part entière dans une réalisation où créativité et imagination guideront toutes les démarches.

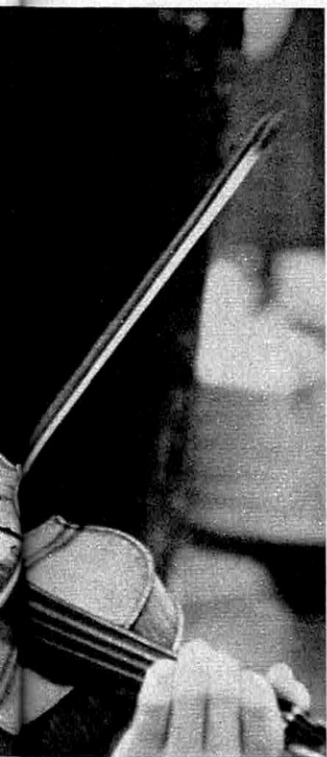
Dans ces musiques, l'équilibre est très aléatoire, voire inexistant, quand bien même les sources utilisées ne sont pas complétées d'aides électroacoustiques. La fantaisie créatrice des auteurs s'exerce dans tous les sens, et rien n'empêche d'écrire une œuvre pour flûte à bec avec accompagnement de cuivres et percussions. Les compositeurs savent fort bien quel parti on peut tirer, à l'heure actuelle, des microphones, dans un studio bien équipé. Ces microphones, véri-

(suite page 78)



La prise de son « subjective » recouvre tout un univers de techniques particulières à l'intérieur duquel le preneur de son joue un rôle essentiel.

(1) A ce sujet, le lecteur pourra se reporter à l'article de Jacques Dewèvre : « L'acoustique architecturale », paru dans Science et Vie Hors-Série n° 94 « Les Sons ».



Photos Guy Prebois.



Vernier-Paris Match-RTL

Elle intéresse des domaines variés, allant des variétés de type « pop » à la musique contemporaine. En haut, on voit ainsi le compositeur alle-

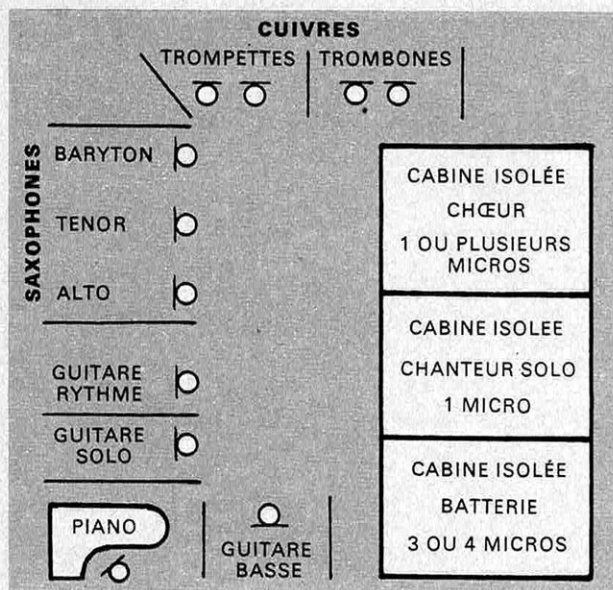
mand Stockhausen diriger une prise de son dans laquelle certains interprètes jouent en fonction d'une bande magnétique préenregistrée.





*Le groupe « Il était une fois »
enregistre aux studios
Pathé-Marconi de Boulogne.*





Exemple d'implantation des microphones de type cellulaire (restitution « subjective »). Il existe en fait une multiplicité de cas et chaque preneur de son a sa technique propre. Les instruments ou groupes d'instruments sont séparés par des cloisons, voire isolés dans des cabines. Le magnétophone multipiste permet en outre des enregistrements fractionnés.

tables organes auditifs de substitution, participeront avec tous les autres artifices (filtres, réverbération artificielle, écho, compresseur, etc.) à une nouvelle interprétation. La balance, ou l'équilibre, n'est plus qu'une question de dosage et de traitement des signaux captés.

À la notion de « re-présentation », utilisée plus haut pour qualifier une retransmission « objective », on parvient ici à la notion de « re-structuration ». En effet, ce qui sera entendu à l'enregistrement ne correspond parfois en rien à la structure écrite sur la partition. On pourra mettre en exergue tel ou tel instrument, créer un effet d'impact, modifier ou briser l'unité de perspective, annihiler complètement l'unité d'ambiance qui existerait dans le studio. Bref, inventer de toutes pièces une réalisation dont l'exécution publique serait impensable.

Que dire alors, lorsque l'emploi de moyens électroacoustiques se superpose à celui des micros pour amplifier les sons, d'une part, mais aussi pour apporter, à la source, diverses modifications sur leur structure même et, qu'en outre, le niveau sonore émis constitue une agression continue de nos tympanes, presque insoutenable ?

Les moyens existent pour réaliser de telles mises en ondes. Prise de son cellulaire⁽²⁾ et emploi de magnétophones multipistes sont de rigueur. Ce n'est finalement que sur le ruban magnétique ou sur le disque que les œuvres atteignent la forme souhaitée.

Tels sont les grands choix de base que le preneur de son doit faire au moment de sa mise en ondes, tout en respectant les intentions du

compositeur et des personnes (interprètes, directeur commercial) avec lesquelles il collabore.

Reste à envisager l'aspect du consommateur. C'est pour lui que le preneur de son travaille et il convient de lui assurer une retransmission qui s'inscrive, au mieux, dans son cadre familial. Bien sûr, cela dépendra en partie de son installation d'écoute, de sa qualité et de sa disposition dans l'environnement particulier d'une salle de séjour. Il faut également que l'auditeur entre dans le jeu et conçoive qu'il n'est pas possible de lui restituer la réalité dans toute sa fidélité. Le terme de « Haute-Fidélité » a, malheureusement, faussé l'optique de beaucoup d'auditeurs. C'est grâce à l'amélioration des moyens électroacoustiques (microphones, chaînes audioélectroniques, haut-parleurs, etc.), que l'on a pu appliquer ce terme évocateur aux réalisations des dernières décennies. Mais si l'on remonte dans le temps à l'écoute des œuvres enregistrées dans les vingt dernières années, on s'apercevra combien ces réalisations ont été dans le sens d'un renouvellement de l'expressivité, et même dans le dépassement des possibilités instrumentales et des voix humaines. Voilà qui paraît être en contradiction flagrante avec l'idée de « fidélité ». Ce phénomène est cependant normal, si l'on veut bien considérer que les progrès techniques ne peuvent améliorer que des moyens de transposition et, par conséquent, d'interprétation.

Deux façons d'agir

Dans le rapport à établir entre le caractère de l'œuvre et sa transposition pour l'auditeur, deux possibilités sont offertes au preneur de son :

- ou bien, il assure la *présence* de la source sonore dans la pièce de séjour ;
- ou bien, il suggère l'*effacement* du cadre familial et transporte l'auditeur dans la salle de concert.

Dans le premier cas, il s'agit d'une véritable *projection à domicile*. Cela peut se concevoir pour les conférenciers, les commentateurs, et pour tout message dont la nature peut s'intégrer dans une pièce de séjour. Que désire un conférencier ou un commentateur radiophonique ? S'adresser à un vaste auditoire, sans doute, mais en même temps donner l'impression qu'il s'adresse à chaque auditeur en particulier. C'est le preneur de son qui doit réaliser cette impression. Il le fera en établissant un plan sonore assez proche. La distance apparente sera très courte, et le climat acoustique associé pratiquement inexistant. Avec un peu d'imagination, l'auditeur aura la sensation que l'interlocuteur se trouve dans son salon et, en fait, à l'emplacement du haut-parleur.

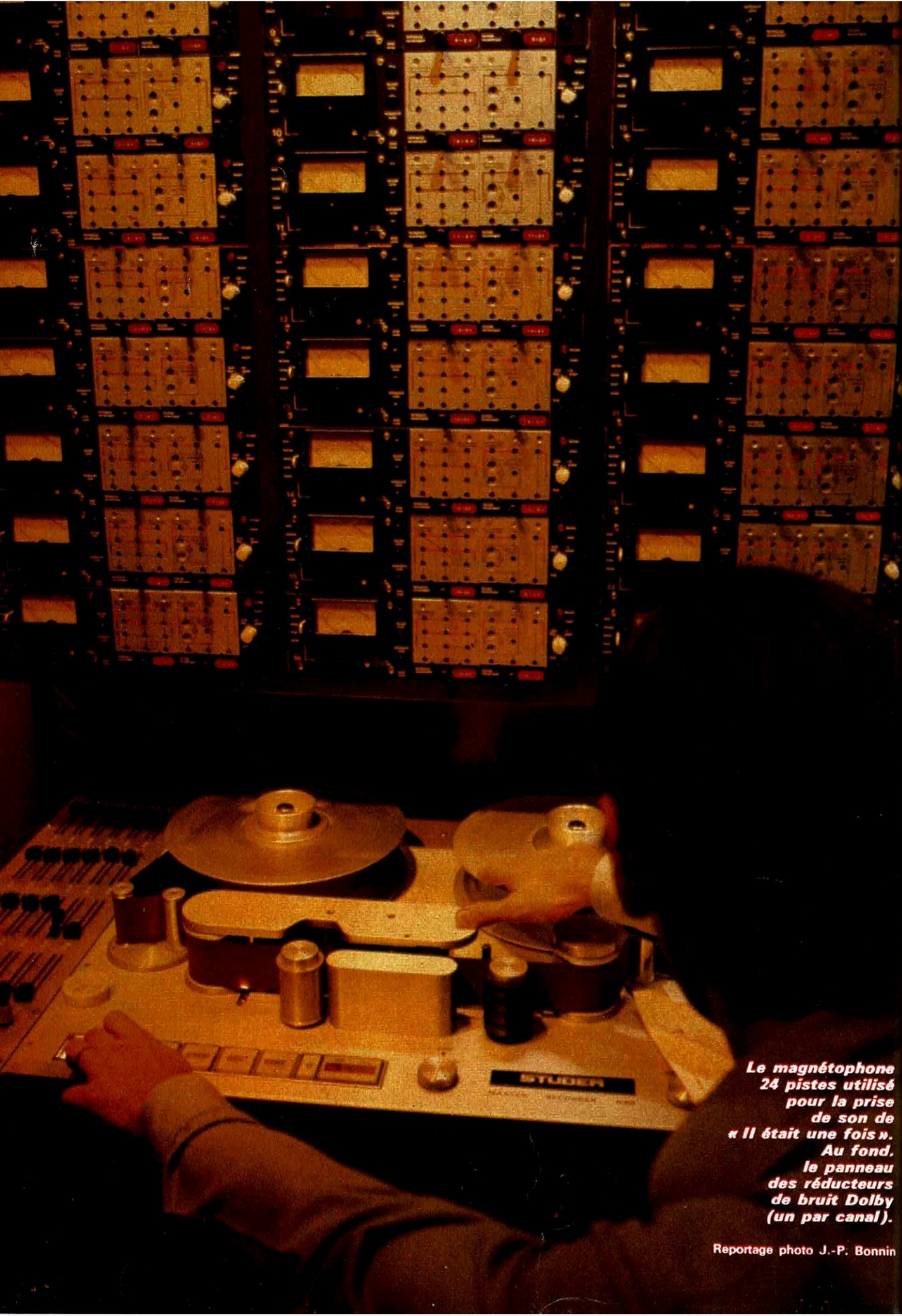
(2) Technique qui consiste à disposer les sources sonores de telle sorte qu'elles interfèrent le moins possible. On peut ainsi les isoler par des panneaux acoustiques ou dans de petites cabines. Les micros sont placés très près des instruments.



Dans le cas d'un entretien radiodiffusé, on veut donner à l'auditeur l'impression qu'on parle pour

lui seul. Le travail du preneur de son sera de créer un « plan sonore » assez proche.





**Le magnétophone
24 pistes utilisé
pour la prise
de son de
« Il était une fois ».
Au fond,
le panneau
des réducteurs
de bruit Dolby
(un par canal).**

Dans le domaine musical, on pense d'abord à la musique de chambre, récitals d'instruments seuls, ou petits ensembles tels que quatuor ou quintette. Les compositions destinées à ces interprètes présentent souvent un caractère d'intimité. Naguère, les exécutions des œuvres de musique de chambre s'adressaient à un public restreint, qui les entendaient dans le cadre de salons privés. Il faut, cependant, nous le verrons plus loin, se garder d'une trop grande rigidité à cet égard.

La retransmission de la musique de chambre demandera une attention particulière. Il faut, en effet, bien distinguer le caractère « musique de chambre » de ce qu'on pourrait appeler la « sonorité de chambre ». Si sensation d'intimité il y a, celle-ci découlera essentiellement de la musique elle-même. Par « sonorité de chambre », nous entendons cette tendance qui consisterait à accentuer certaines caractéristiques des instruments telles que, par exemple, pour les cordes, frottement de l'archet, sifflements, sécheresse, éléments perceptibles à l'écoute directe à proximité de l'interprète. Tous ces bruits associés acquièrent, lors de leur restitution par haut-parleur, un grossissement extrêmement désagréable. Par conséquent, la perception du timbre des instruments sera faussée au détriment de la satisfaction esthétique, et il y a risque de fournir une sonorité quelque peu étriquée que n'atténuera pas l'emploi d'artifices extérieurs.

C'est donc le jeu des interprètes et non leur nombre, l'établissement des nuances, qui suggérera le caractère propre à ce genre. Le preneur de son aidera à atteindre cette impression par l'établissement de *plans sonores plutôt moyens*. On peut, dans ce cas, concevoir que l'ambiance associée soit celle de la salle de séjour, et non une réverbération apparente surajoutée et audible qui pourrait être contradictoire.

Le deuxième cas visera à *transporter l'auditeur vers le lieu de création*. Les œuvres à grand déploiement orchestral, au volume sonore élevé, et l'ambiance associée vont largement au-delà des possibilités spatiales et acoustiques de la salle de séjour. Il serait vain de vouloir intégrer une telle information dans un cadre aussi restreint. Dès lors, le preneur de son accentuera les *informations d'ambiance*. Celles-ci auront la faculté de suggérer un élargissement du cadre familial, par la sensation d'« effacement » des parois. Ainsi en est-il des œuvres qui, outre l'utilisation d'un grand effectif instrumental, sont exécutées dans de grands auditoriums. Et quand bien même l'œuvre interprétée appartiendrait au répertoire de la musique de chambre, on concevrait difficilement qu'elle ne révèle pas l'ambiance associée si, par exemple, elle a été enregistrée dans une église. L'habileté et le bon goût du preneur de son guideront une telle réalisation afin d'assurer avec bonheur la fusion entre le caractère sémantique et le caractère spatial. S'il n'en était pas ainsi, tout l'effet évocateur serait manqué.

Ce genre de prise de son nécessitera l'emploi éventuel de plusieurs microphones d'appoint pour sauvegarder l'aspect sémantique. D'autre part, seront utilisés des microphones d'ambiance, dont l'information obtenue est judicieusement mélangée à celle des sons directs.

Il n'est pas de règle générale

Il est malaisé de donner ici des indications précises sans pouvoir les illustrer par des exemples. Chaque prise de son constitue, pratiquement, un cas d'espèce, pour lequel les principes de base évoqués plus haut sont le seul facteur commun. La mise en ondes présentée à l'auditeur nécessitera, dans chaque cas, l'application réfléchie de moyens et de solutions originaux. Un exemple fera peut-être comprendre plus aisément ce qui est en cause. Prenons celui de l'orgue, implanté généralement dans une église, large vaisseau de pierre doté d'une réverbération plus ou moins importante. La richesse de timbre de cet instrument est bien connue ainsi que la majesté du volume sonore qu'il peut déployer.

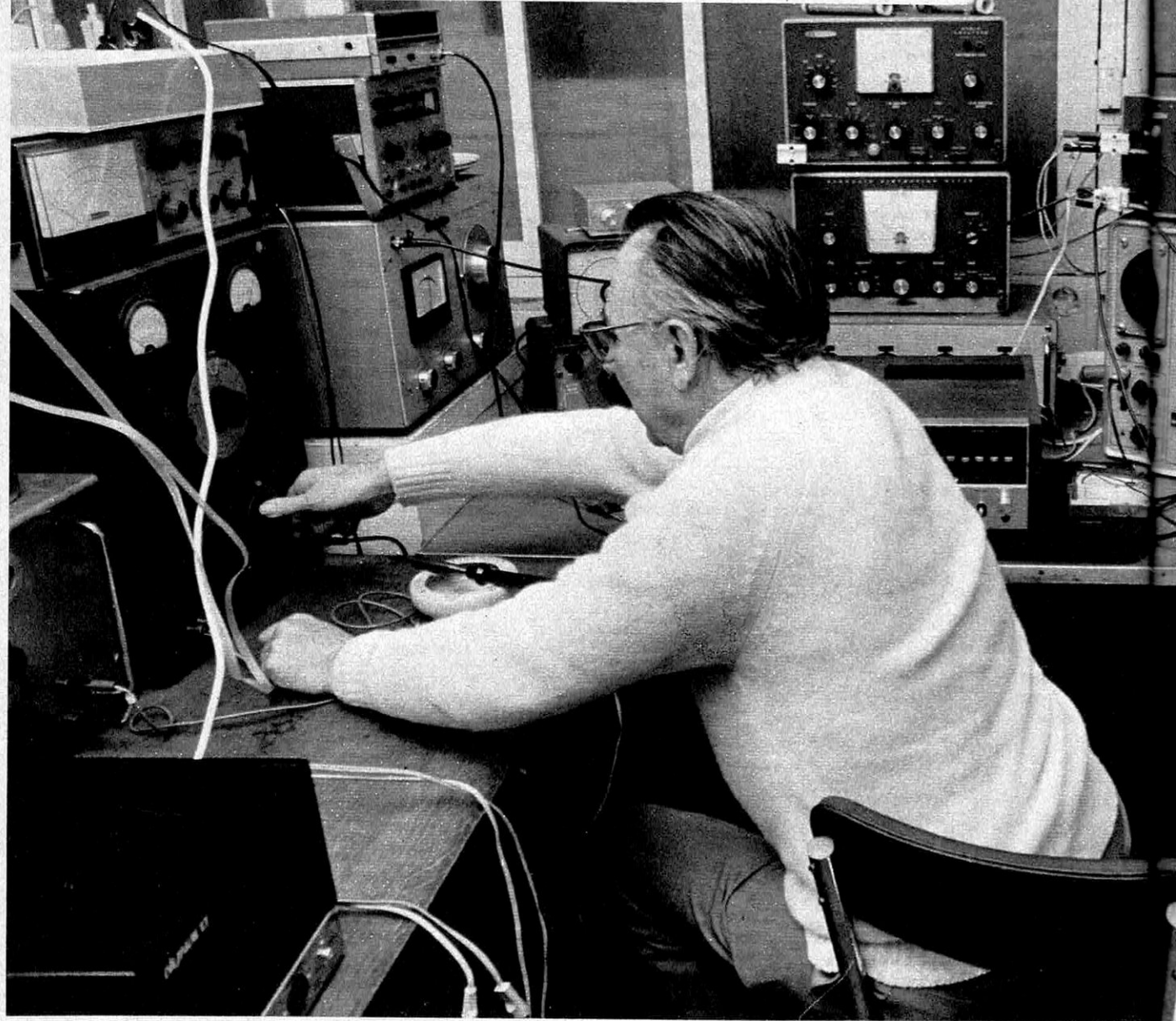
Ne pas transmettre l'ambiance associée serait une erreur ; accentuer la présence de certains jeux risque d'être une faute de goût. Le facteur d'orgues a équilibré l'instrument en fonction de son environnement, permettant que certains jeux, comme les anches, émergent de la masse des jeux de fonds. L'organiste, de son côté, compose sa registration en fonction de l'œuvre, établit les nuances nécessaires, met en valeur telle phrase de la pièce exécutée. Ici, comme pour l'orchestre, il faut respecter ces diverses intentions. En outre, percevoir particulièrement tel jeu, tel tuyau et le localiser n'apporte aucun élément esthétique supplémentaire.

On entend dire parfois qu'il faut restituer ce que le musicien entend à son clavier d'orgue ou de piano, ou ce que le chef d'orchestre perçoit à son estrade. N'est-ce pas une erreur ? Car ce n'est pas cette perspective qui intéresse l'auditeur, mais bien celle qu'il a pu ressentir dans une église ou dans une salle de concert. Par comparaison avec les données de sa mémoire, il appréciera ou non la mise en ondes proposée.

Ces quelques aspects ne représentent qu'une partie des problèmes posés au preneur de son. Le lecteur comprendra que leur solution ne dépend pas d'une improvisation, mais d'une démarche prudente, à laquelle sont associés les interprètes, pour donner un type particulier d'œuvre d'art. La remise en question continuelle des procédés utilisés, la nécessité de respecter certains critères, de s'adapter à certaines modes fluctuantes, de maîtriser — toujours — les moyens de restitution électroacoustiques, empêchent le preneur de son de se laisser aller à une négligence somnolente, et n'en rend son métier que plus passionnant.

Léon GEUENS

VERS UN LABEL HI-FI?



Les abus de toutes sortes dans la présentation des performances du matériel haute-fidélité attirent désormais l'attention, en divers pays, des autorités gouvernementales. Il est temps qu'une réglementation précise voie le jour. Il semble également possible de définir un label haute-fidélité.

● Un peu comme la puissance fiscale d'une automobile, la puissance de sortie d'un amplificateur est une caractéristique essentielle pour en définir la classe. Le prix auquel un constructeur peut espérer vendre ses appareils sera d'autant plus élevé qu'ils feront preuve d'une plus grande puissance. Pour cette raison, le délire s'est emparé, depuis une dizaine d'années, des constructeurs, lesquels proposaient à usage domestique des installations que l'on aurait pu croire destinées à sonoriser la place de la Concorde. En y regardant de plus près, ces appareils ne semblaient pourtant pas plus « musclés » que les bons vieux amplificateurs à tubes d'antan, aux performances modestes.

L'explication est qu'il existe toutes sortes de catégories de puissance, allant de la valeur effi-

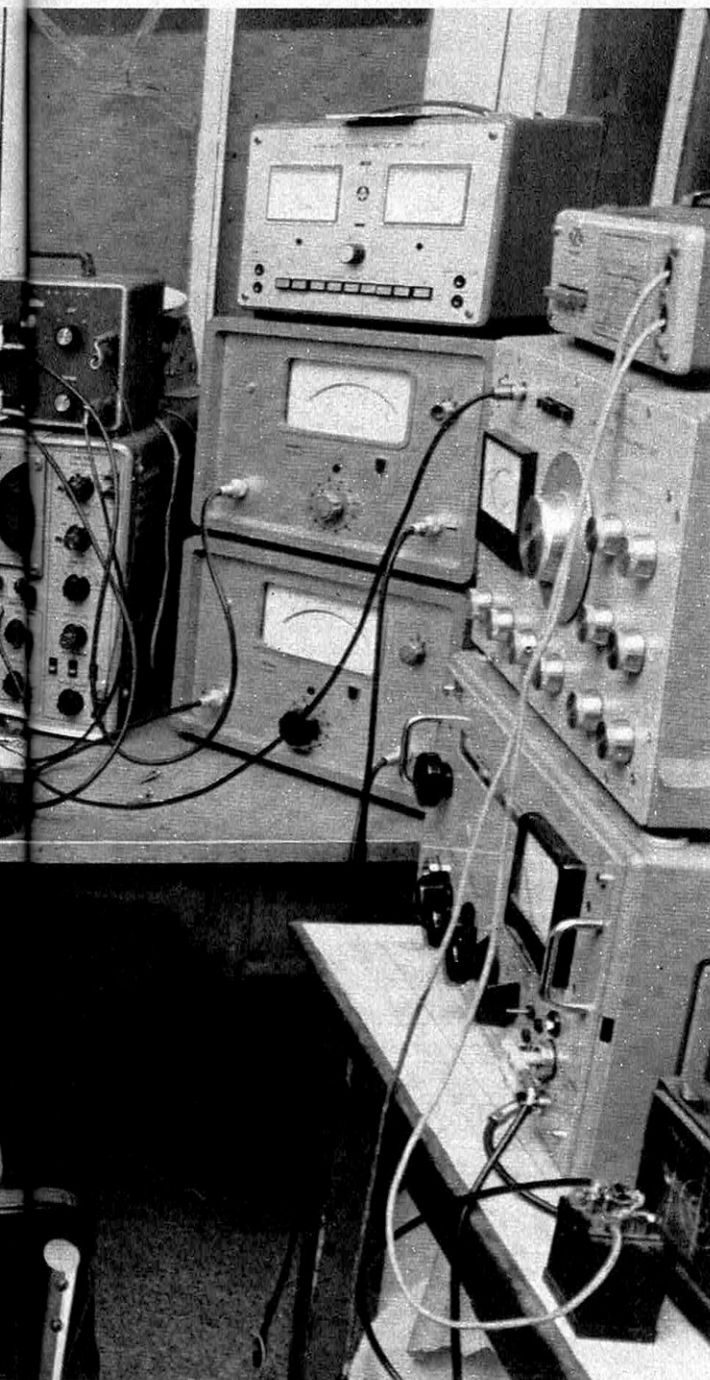


Photo J.-P. Bonnin

cace, la plus faible, mais la plus parlante, à la valeur que les techniciens appellent *crête à crête* et qui ne fait pas moins du double de la précédente. Pour peu que l'on additionne les deux canaux, on se retrouve à la tête d'une caractéristique quatre fois plus avantageuse. Des constructeurs peu scrupuleux, ou leurs représentants, se sont réellement servis de tels procédés dans les dernières années.

Aux Etats-Unis, à la suite de nombreuses plaintes, la Commission fédérale du commerce s'est émue de cette situation. Une réglementation sur la manière d'annoncer la puissance de sortie a été publiée. De nombreux pays ont immédiatement suivi cet exemple, dont la France où l'on a vu récemment des inspecteurs du Service des fraudes s'intéresser à la haute-fidélité.

Cet exemple fait comprendre la nécessité, pour le moins, de normes relatives aux procédés de mesure et à l'énoncé des caractéristiques. Chaque pays suffisamment industrialisé pour être à la fois producteur et consommateur de matériel haute-fidélité possède ses propres normes et, d'une norme à l'autre, il y a heureusement peu de différences. Les principales sont actuellement les normes allemandes DIN, les normes CEI de la Commission électrotechnique internationale, et les normes françaises NF proposées par le SIERE, Syndicat des industries électroniques d'enregistrement et de reproduction.

Ces diverses normes précisent les définitions de base des caractéristiques objets de la normalisation. Les méthodes de mesure sont décrites en détail ainsi que certains circuits et appareillages nécessaires à leur application rigoureuse. Ainsi, dans la norme NF C 97-310, la mesure de puissance d'un amplificateur stéréophonique fait l'objet d'un texte très détaillé. Ce texte se rapporte aux amplificateurs en général, destinés aux signaux électroacoustiques, tant pour des applications de sonorisation que pour la haute-fidélité. Si nous y trouvons un paragraphe consacré aux définitions, un autre aux caractéristiques devant être spécifiées et mesurées, un troisième précisant les conditions générales d'essai et un dernier consacré aux méthodes de mesure, aucune indication n'est donnée au sujet des résultats. Dans l'esprit de ce texte, il ne s'agit aucunement de juger un matériel, mais seulement de le mesurer.

Les publications de la Commission électrotechnique internationale contiennent les mêmes éléments, avec certaines précisions relatives aux caractéristiques des appareils de mesures. Diverses annexes (prévues aussi dans les normes françaises, mais trop souvent laissées en blanc en attente d'une décision qui se fait attendre) fournissent des précisions sur les courbes de réponse des filtres de mesure et donnent des explications complémentaires lorsqu'un résultat laisse plusieurs interprétations possibles.

Les normes DIN sont, elles, consacrées spécialement à la haute-fidélité. On y retrouve les mêmes éléments qu'ailleurs, et, aspect nouveau des choses, un minimum de qualité en dessous duquel le matériel testé ne peut plus être considéré comme digne de l'appellation Haute-Fidélité. Lorsqu'une caractéristique doit suivre un tracé déterminé considéré comme idéal, un gabarit entoure cette ligne et le relevé obtenu (par exemple une courbe de réponse) doit rester à l'intérieur du périmètre ainsi défini.

La seule objection que l'on peut opposer à la norme DIN, c'est de proposer des limites et des gabarits que les spécialistes considèrent aujourd'hui comme dépassés. Il est désormais possible de faire beaucoup mieux avec des moyens qui restent simples, et l'amateur de haute-fidélité est en droit de considérer que la limite inférieure préconisée par les normes DIN 45500 est plus digne d'un bon électrophone que d'une chaîne haute-fidélité.

A défaut d'une définition complète, faite par un même organisme, de ce qu'est la haute-fidélité et des moyens de s'assurer qu'un appareil répond bien aux critères, l'amateur devra se livrer à une enquête pour savoir si le matériel qui l'intéresse est convenable. Il pourra pour cela s'aider des caractéristiques publiées par le constructeur, mais devra connaître le sens des définitions et la valeur des résultats. Les chiffres indiqués sur les prospectus et notices sont généralement exacts, car les textes législatifs sur la publicité fallacieuse sont suffisamment féroces pour que personne ne se risque plus aujourd'hui à avancer des résultats « gonflés ». Mais restent les imprécisions. Il est par exemple possible de tricher sur une courbe de réponse en omettant d'indiquer la fourchette retenue pour les écarts maximum que l'on tolère. Toutes les normes disent qu'une courbe de réponse doit être spécifiée à plus ou moins x décibels. Un constructeur qui évite de préciser cette fourchette peut agrandir la courbe de réponse de ses appareils sans être en infraction avec la loi. Un autre exemple de tricherie avec les caractéristiques est celui que nous avons cité pour la puissance.

La jungle de l'électroacoustique

A ces abus qui proviennent d'une réglementation trop imprécise, les organismes officiels répondent actuellement au coup par coup, car tout reste encore à faire pour protéger le consommateur dans cette jungle de la technique électroacoustique. Il serait évidemment souhaitable que, dans un premier temps, le législateur oblige constructeurs ou importateurs de matériel à exprimer les résultats d'une façon unique, celle des normes en vigueur. Ceci exigerait que les caractéristiques ainsi annoncées soient vérifiées. Mais il n'existe actuellement en France qu'un seul laboratoire officiel qui puisse procéder à ces vérifications : le Laboratoire national d'essais, qui dépend du Conservatoire des arts et métiers. Avec les moyens disponibles aujourd'hui, tester les quelque deux mille produits actuellement présents sur le marché et qui revendiquent l'appellation haute-fidélité prendrait plusieurs années. D'ici là, tous les produits en question seront évidemment démodés et depuis longtemps remplacés par d'autres.

L'acquéreur en puissance peut aussi se reporter aux analyses techniques publiées par les revues spécialisées. Celles-ci, dans le cadre de bancs d'essais de matériels, fournissent des rapports de mesures extrêmement complets, avec tout à la fois les caractéristiques détaillées des appareils, mesurées bien entendu suivant les normes en vigueur, et une quantité d'appréciations sur ces mesures, sur les résultats obtenus et sur l'utilisation pratique.

Malheureusement deux ou trois revues seulement réalisent de tels bancs d'essais, ce qui fait, à raison de deux à six appareils par numéro mensuel, moins de deux cents appareils testés par an : le dixième de ce qui serait nécessaire.

Un label Hi-Fi ?

Au fond, serait souhaitable pour le consommateur de haute-fidélité une présentation moins technique des choses. Lorsque vous achetez un réfrigérateur ou une machine à laver, la présence du label NF peut vous rassurer. Il vous est évidemment possible de vous informer plus complètement sur les caractéristiques absolues ou comparées, mais le label garantit déjà un certain nombre de performances.

Un tel label, comparable à l'utilisation de la norme DIN 45 500 pour le matériel fabriqué en Allemagne, est actuellement à l'étude. Les caractéristiques demandées pour ce seuil de qualité devraient, tout naturellement, être un peu plus performantes que celles retenues pour le label DIN. Nous sommes en droit de penser que seront retenus les critères actuellement appliqués par le SIERE pour décider si un matériel peut être admis dans le cadre du Festival du son. Ils représentent un pré-label, appliqué depuis plusieurs années, mais qui, pour diverses raisons, n'a jamais été admis par les constructeurs (1).

Un meilleur moyen de faire admettre l'utilisation de labels de qualité consisterait à établir plusieurs classes de performances, la plus mauvaise étant équivalente à la norme DIN. Ceci repose le problème précédemment évoqué de la mesure du matériel par un organisme habilité.

A ce sujet, du nouveau se prépare ; un institut français de la haute-fidélité est en gestation, créé par des spécialistes de la mesure et des tests en matière de Hi-Fi. Cet institut se propose de réaliser la mesure de tous les matériels existants et de fournir aux consommateurs des fiches de caractéristiques correspondantes.

Pour atteindre cet objectif, un matériel impressionnant est indispensable, permettant en particulier l'automatisation des mesures. Les mêmes méthodes et les mêmes appareils étant employés pour établir les relevés de performances, les comparaisons deviendront possibles.

**

La conclusion que l'on peut tirer de ce tour d'horizon à propos des normes de mesure est que l'on vit actuellement beaucoup d'espoirs. Plusieurs solutions sont en vue pour tirer d'embarras le consommateur. Trop souvent le revendeur a perdu sa confiance. Trop souvent le constructeur est obligé de présenter ses caractéristiques sous une forme incomplète, voire fallacieuse, pour ne pas être désavantagé.

Il est grand temps d'arrêter cette course à l'abîme si l'on ne veut pas que, dans l'avenir, s'anéantissent les possibilités qu'offre la haute-fidélité de faire connaître et aimer la musique.

Yves MARZIO

(1) Aucun d'entre eux n'a jusqu'à ce jour inscrit sur ses notices comme preuve de qualité que son matériel avait été admis au Festival du son. Sans doute parce que, comme pour le label DIN, la barrière a été placée un peu trop bas.

SCIENCE & VIE par les timbres

COLLECTION: «ARTS ET TECHNIQUES»

DANS LE CADRE DE SES COLLECTIONS
DE TIMBRES-POSTE THÉMATIQUES,
SCIENCE ET VIE A FAIT PARAÎTRE

(B)

INSTRUMENTS DE MUSIQUE

Il y a toujours eu des relations très étroites entre la science et la musique. Les premiers instruments de musique traditionnelle à l'aube des temps modernes ont permis aux Grecs d'appréhender ou de formuler certaines notions de physique. Par un juste retour des choses, la science moderne a permis de créer de nouveaux instruments de musique inconnus jusqu'à présent, mais qui ne feront pas disparaître les instruments traditionnels.

7 TIMBRES PARMI LES 50 DE LA SÉRIE

BON DE COMMANDE

A découper ou recopier et à adresser accompagné de son règlement à Science et Vie, 5, rue de la Baume, 75008 Paris.
Veuillez m'adresser votre série :

- ☐ (A) L'ARTISANAT
☐ (B) LES INSTRUMENTS DE MUSIQUE
☐ (C) ARCHÉOLOGIE (1)
☐ (D) ARCHÉOLOGIE (2)

Je vous règle la somme de 12 F (étranger 14 F) par série :

- ☐ C.C.P. 3 volets (sans indiquer de n° de compte).
☐ Chèque bancaire ☐ Mandat poste
A l'ordre de Science et Vie.

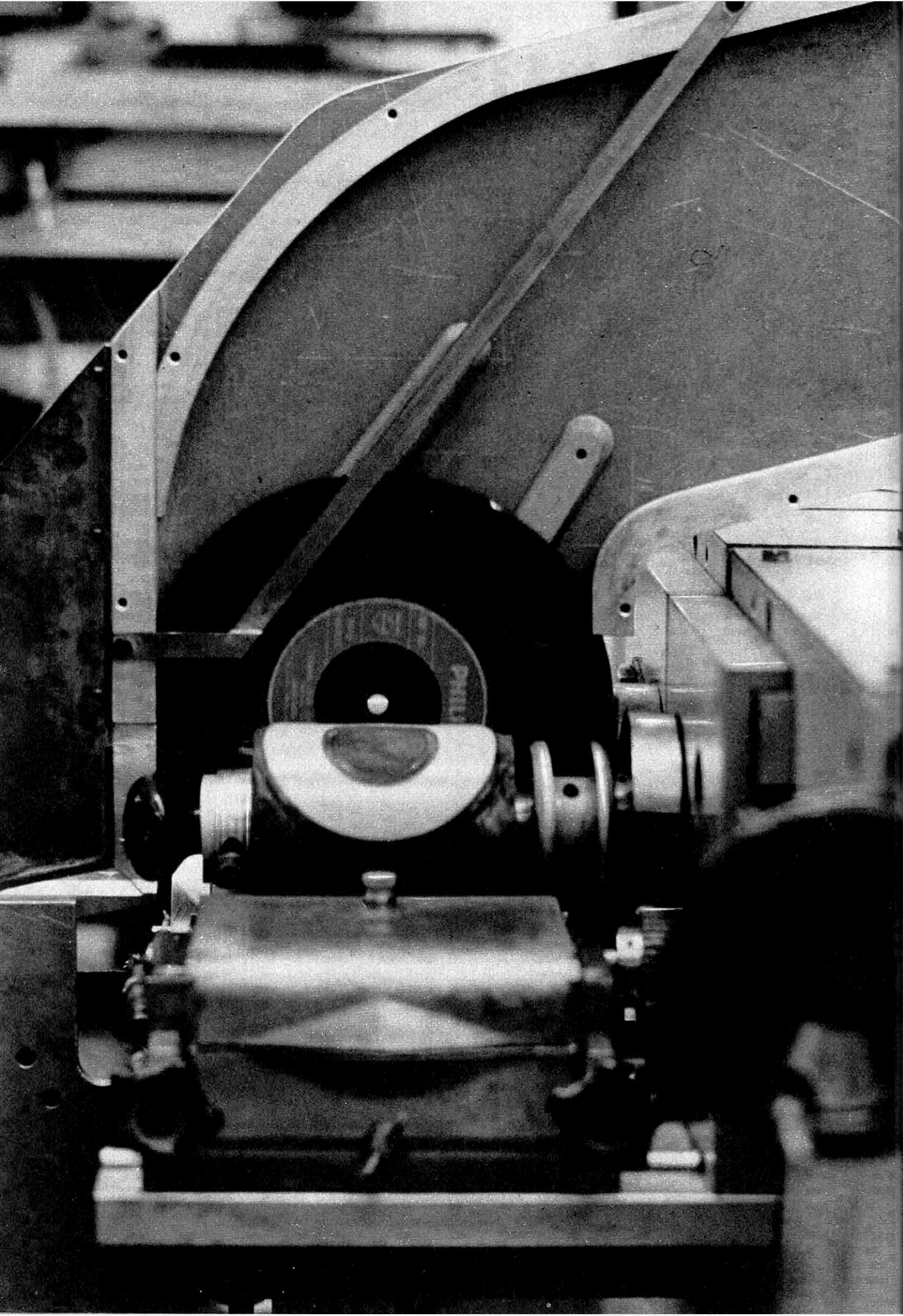
Nom

Adresse

Code Ville

Les 50 TIMBRES POSTE
de collection
pour
12^F FRANCO
SEULEMENT





LE DISQUE ET SON INDUSTRIE

En matière de disques, on attribue souvent à une gravure défectueuse des défauts qui sont inhérents au procédé d'enregistrement lui-même. Car les contraintes et les compromis sont multiples lorsqu'il s'agit de faire passer un orchestre de

quarante musiciens tonitruant dans un vaste auditorium sur une étroite surface de vinyle destinée à l'écoute privée. De telles contraintes n'empêchent pas l'industrie du disque d'être florissante : 8 500 titres déposés en France en 1973.

● Bien que d'un usage très répandu, le disque (aussi bien sous ses aspects économiques que sous ses aspects techniques) est fort mal connu du grand public. Nous nous proposons ici de clarifier un peu la situation, voire de démythifier certains aspects d'une industrie, qui sont fréquemment mal exposés.

Du point de vue économique, les statistiques disponibles ⁽¹⁾ s'arrêtent à 1973. Depuis, alors que la croissance fléchissait ou même régressait dans beaucoup de secteurs de l'économie, elle s'est poursuivie dans celui qui nous intéresse. Le tableau suivant donne une idée de la progression des ventes de disques depuis un peu moins de quarante ans, en France.

année	1938	1958	1968	1973
disques (millions)	2,45	30,5	51	108

Pour 1973, la répartition de la production était de 55 % de disques 45 tours et 45 % de 33 tours.

En se référant à ces dernières statistiques, il est intéressant de « situer » le marché français dans le monde, en disques vendus. USA 422 millions ; Japon 165 millions ; URSS 154 millions ; Royaume-Uni 132 millions ; Allemagne 130 millions ; France 108 millions.

Si nous passons au nombre de disques vendus rapporté à la population, le classement se modifie. Viennent en tête les Anglais, suivis par les Allemands et les Français ; se placent ensuite les Américains, les Japonais et, assez loin, les Soviétiques.

Pour l'industrie française, le chiffre d'affaires hors-taxes, comprenant les disques, mais aussi les cassettes et cartouches magnétiques, est de quelque 900 millions de francs. Pour fixer les idées, il a été vendu, en 1973, 6 millions de cassettes et de cartouches.

Il existe en France 200 sociétés productrices dont 51 (regroupées dans le Syndicat de l'édition phonographique) couvrent 90 % du marché. Quelques-unes seulement sont complètement intégrées, c'est-à-dire ont les moyens de produire le disque de bout en bout. Elles assurent donc, en sous-traitance entière ou partielle,

(1) Fournies par le Syndicat national de l'édition phonographique et audiovisuelle, 1, rue de Courcelles, Paris.

la fabrication pour de nombreuses autres marques.

Si la main-d'œuvre employée par l'ensemble de la profession a augmenté avec les ventes, cet accroissement a été relativement modéré en raison de l'automatisation de plus en plus poussée des moyens de production. En 1973, les effectifs ne dépassaient pas 3 500 cadres et employés et 2 000 ouvriers.

L'aspect administratif et législatif de l'industrie du disque est assez complexe, compte tenu des droits et obligations des producteurs, éditeurs, presseurs, vis-à-vis des compositeurs et auteurs représentés par la Société pour l'administration du droit de reproduction mécanique. Chaque disque nouveau doit d'ailleurs être déposé à la Phonothèque nationale. En 1973, ce sont environ 3 000 disques classiques et 5 500 de variétés qui ont ainsi été déposés.

Avant d'en venir aux aspects techniques de la production moderne des disques, rappelons que ce produit est frappé par la TVA au taux maximum, celui des objets de luxe, alors que la presse écrite bénéficie d'un taux inférieur de moitié. Ceci explique en partie le coût relativement élevé des disques en France.

Le sillon du disque

Tout le monde sait que le disque porte à sa surface une gravure en forme de sillon. On sait moins comment ce sillon peut être modulé pour enregistrer un programme monophonique, stéréophonique ou tétraphonique et comment les gravures peuvent être compatibles entre elles. Nous ne nous occuperons bien entendu que des disques microsillon.

Le sillon, figure 1A, est donc en forme de V dont l'angle est très exactement de 90°. La largeur nominale est de 70 microns. Elle peut varier, nous verrons plus loin pourquoi, entre 35 et 100 microns environ.

Prenons le cas général de la stéréophonie. Chaque flanc AB ou BC du sillon peut être modulé indépendamment. Par exemple, le flanc AB peut être déplacé en A1B1 - A2B2. On voit que ce déplacement n'affecte pas le flanc BC, ce qui

permet de sauvegarder l'indépendance des deux modulations.

La monophonie, figure 1B, n'est qu'un cas particulier de la stéréophonie, celui dans lequel les deux voies, droite et gauche, sont additionnées.

Le sens de cette addition est choisi de telle façon que si AB vient en A1B1, BC vienne en B1C1. Le sillon a conservé sa largeur, mais il s'est déplacé à gauche. Cette gravure monophonique est appelée latérale car elle se situe parallèlement à la surface du disque.

En stéréophonie, les deux voies sont modulées indépendamment. AB et AC peuvent se déplacer d'une manière quelconque et au besoin se retrancher comme sur la figure 1C. Dans ce cas particulier, le sillon ne se déplace plus dans le plan du disque, mais il s'élargit ou se rétrécit et la modulation est dite verticale. Dans le cas général de la stéréophonie, il y a combinaison de la modulation latérale et de la modulation verticale. Le sommet B peut occuper une place quelconque à l'intérieur d'un cercle ou, en pratique, d'une ellipse, car on s'arrange pour que l'amplitude de la modulation verticale reste inférieure à celle de la modulation latérale.

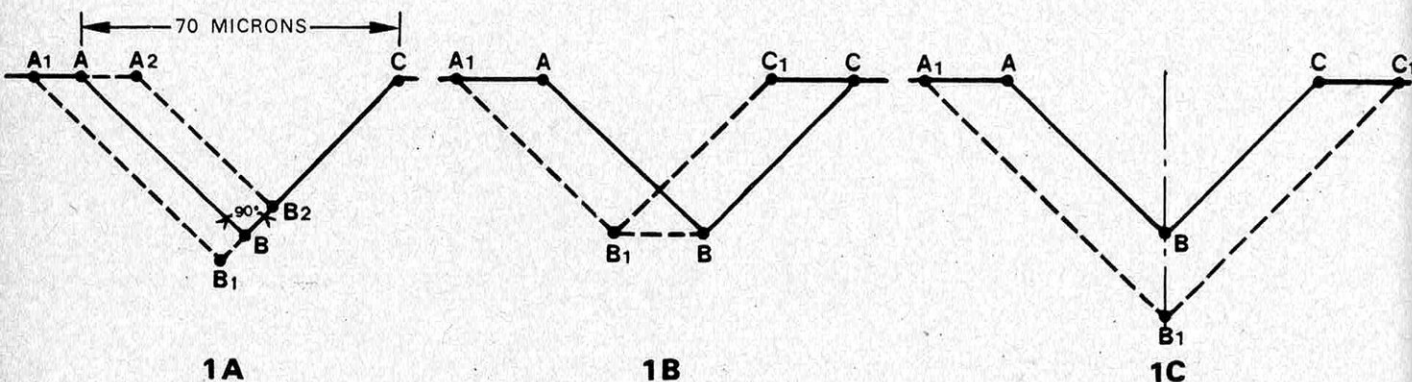
Puisqu'on ne dispose que de deux flancs AB et BC, on peut se demander comment on peut y loger les deux voies supplémentaires exigées par la tétraphonie. En gros, deux méthodes sont utilisées. Ou bien, par un mélange spécial, on réduit le nombre de voies de 4 à 2, ou bien on maintient les quatre voies, deux d'entre elles étant transmises par un signal de fréquence supersonique superposé aux deux voies normales. Le premier système a pour inconvénient de mélanger les voies et, à la lecture, de les séparer médiocrement ; le second offre des difficultés de gravure et de lecture dues à la présence des signaux supersoniques.

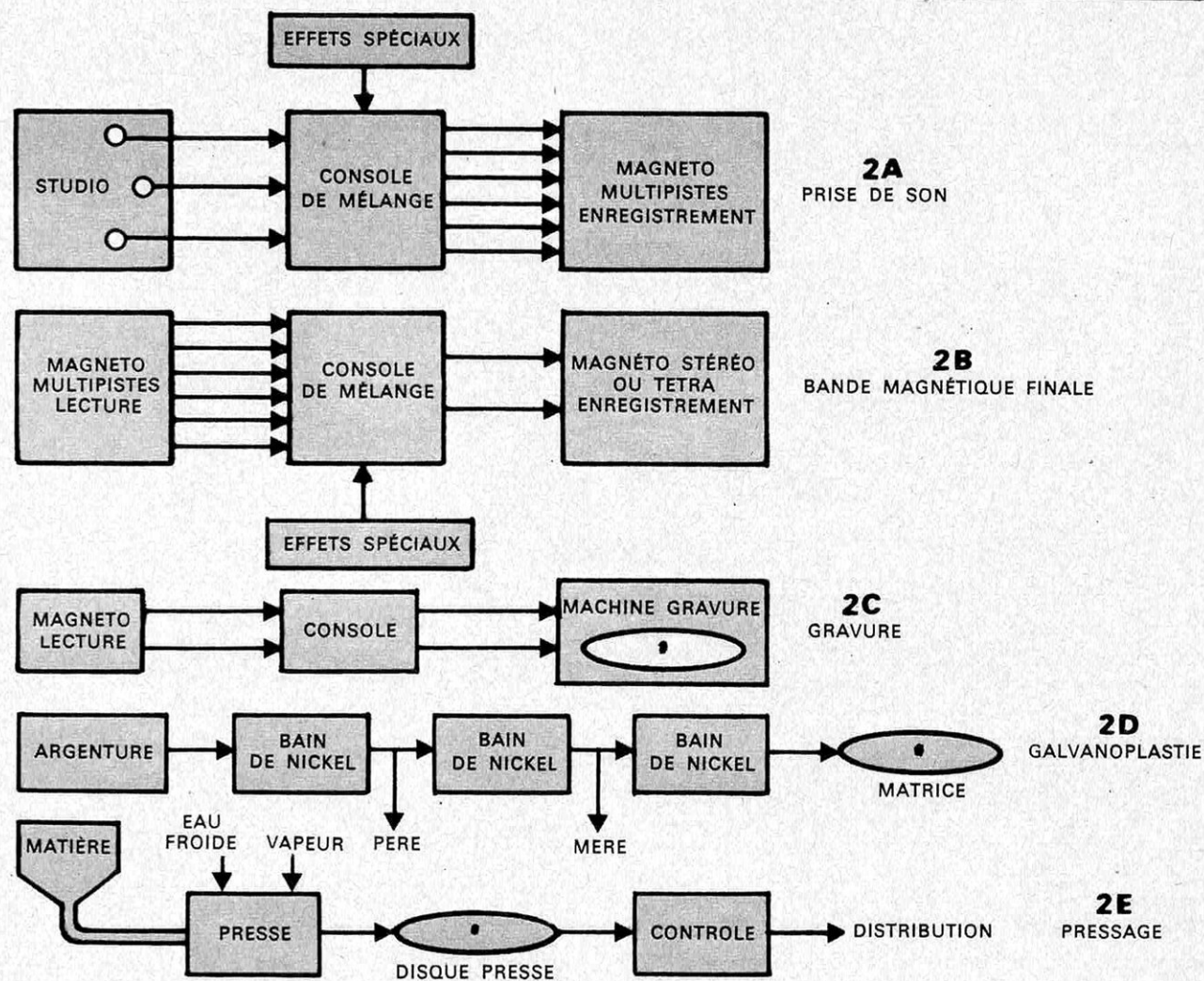
La production d'un disque

Le tableau synoptique de la page 89 représente les différents stades de la fabrication.

- Enregistrement du son (fig. 2A et 2B). L'enregistrement est réalisé dans des studios dotés

Modulation monophonique et modulation stéréophonique.





De la prise de sons à la commercialisation du disque.

d'un équipement complexe. Il n'est pas dans notre propos de décrire toutes les exigences aussi bien acoustiques qu'électroniques qui président aux opérations. Pour fixer les idées, disons que le prix d'une grande console de prise de son dépasse largement le million de francs et qu'un magnétophone multipistes (jusqu'à 24) coûte plusieurs dizaines de milliers de francs.

Cette complexité technique est due à ce que la prise de son moderne utilise de nombreux microphones de façon à mieux isoler les groupes d'instruments pour les rendre plus distincts. Cette technique est poussée à l'extrême pour les enregistrements de variétés, à tel point que les groupes d'instruments sont isolés par des écrans, que la prise de son s'effectue en plusieurs fois, portant sur un certain nombre d'instruments, puis d'autres, etc., et que le chanteur, par exemple, est enregistré à part.

En dehors d'une meilleure séparation acoustique, cette technique a un autre avantage : celui, pour le soliste, de pouvoir recommencer son exécution autant de fois qu'il est nécessaire sans requérir la présence d'un orchestre entier.

Le son ainsi enregistré dans des studios, dont l'acoustique est très neutre et mate, est complété

par l'addition de réverbération artificielle, ajustable en quantité et en qualité sur chacun des groupes enregistrés. Il en résulte une grande souplesse et des possibilités presque illimitées quant aux effets sonores.

On peut reprocher à cette technique son manque de naturel et dire que le son final est un son trop « fabriqué ». C'est vrai dans une certaine mesure, mais il convient de se rappeler combien le son des enregistrements de variétés anciens était plat et parfois confus.

Pour les enregistrements dits classiques, on utilise aussi plusieurs microphones, notamment pour extraire de la masse orchestrale de petits instruments peu sonores. Quant aux solistes, ils enregistrent toujours simultanément avec l'orchestre. Le but à atteindre est en effet de se rapprocher le plus possible de ce que l'on perçoit dans une salle de concert.

À la fin de la prise de son, on dispose d'un enregistrement sur bande magnétique de 2,5 ou 5 cm de large, comportant de nombreuses pistes, habituellement de 8 à 24, sur laquelle sont enregistrées bout à bout les diverses séquences de l'œuvre, et chacune d'elles plusieurs fois.

Vient alors le « montage », c'est-à-dire la sé-



La machine de gravure transfère sur la laque nitrocellulosique du disque original l'enregistre-

ment porté par une bande magnétique. Il s'agit d'un appareil de haute précision.

lection des meilleurs passages de chacune des séquences. Il faut aussi réduire à 2 (pour la stéréophonie) ou à 4 (pour la tétraphonie) les 8, 16 ou 24 pistes en les mélangeant et, au besoin, en effectuant des corrections d'équilibre sonore. On obtient alors la bande magnétique finale de la figure 2B.

Notons au passage deux points dont nous aurons l'occasion de reparler :

- la bande magnétique finale est une copie de l'original ; c'est une deuxième génération, elle cumule donc les petits défauts inhérents à l'enregistrement magnétique ;
- toutes les opérations ont été réalisées subjectivement par le truchement de l'oreille et du goût du preneur de son, des artistes et du directeur artistique. Il ne s'agit pas d'un travail industriel objectif et précis, mais d'une appréciation purement humaine.

● **Gravure du disque** (fig. 2C). La gravure est l'opération qui consiste à transférer sur le disque l'enregistrement réalisé sur bande magnétique. En plus du magnétophone destiné à la lecture de la bande, on utilise une petite console pour procéder éventuellement à quelques corrections pour le cas où la bande magnétique finale ne serait pas tout à fait satisfaisante. Ceci se produit assez rarement pour des bandes circulant à l'in-

térieur d'une même société, mais plus fréquemment pour des bandes provenant de l'étranger.

Intervient alors la machine de gravure dont la mécanique est de très haute précision. Cette machine est automatisée en ce qui concerne les cotes des diamètres de départ et de fin de la gravure. De plus, selon le niveau plus ou moins fort du signal sonore et sa composition spectrale (basses, aigus) le pas et la profondeur, donc la largeur du sillon, sont modifiés. Par exemple un fort signal de grave fait augmenter le pas et approfondir la coupe. Ceci est obtenu à partir du magnétophone de lecture qui, grâce à une tête de lecture supplémentaire, avertit la machine des caractéristiques du signal qui va arriver. Ce système permet de gagner de la place sur la surface du disque donc d'augmenter la durée de l'audition. On peut ainsi loger de 30 à 180 tours de sillon dans 1 cm.

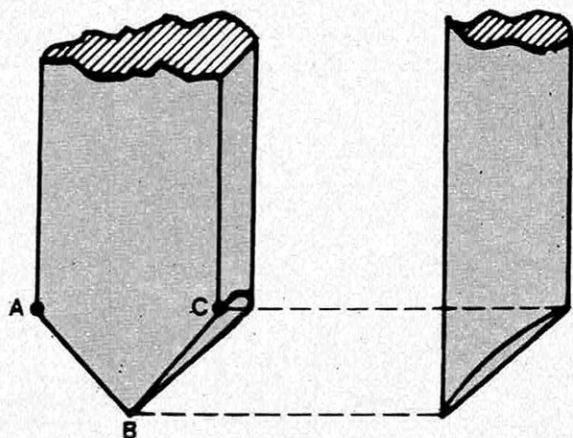
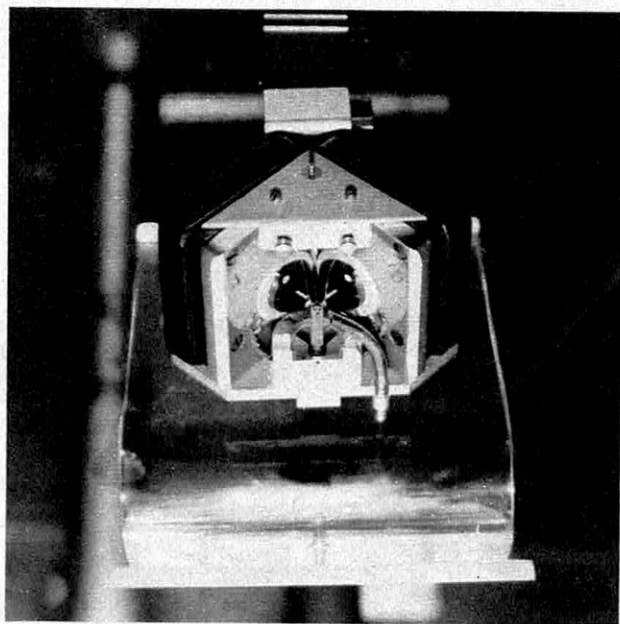
Le disque sur lequel se fait la gravure est en aluminium recouvert d'une laque nitrocellulosique. C'est donc une laque relativement molle que l'on grave. Autrefois, c'était une cire. L'état de surface de la laque répond à des spécifications draconiennes : ce doit être un miroir parfait.

Le graveur, cœur du système, a des caractéristiques électromécaniques très poussées. On lui

demande de transmettre sans affaiblissement et sans distorsion toutes les fréquences entre 30 et 20 000 Hz ; de supporter, malgré la petitesse de tous ses éléments, des puissances instantanées considérables (plusieurs centaines de watts, il est vrai pendant un temps très court, pour une percussion).

Pour faciliter la coupe dans la laque, le burin est entouré d'un fil parcouru par un courant continu réglable ; le copeau découpé est aspiré dans un petit tube. La figure en bas donne une perspective du burin complétée par une vue de profil. Les arêtes BA et BC sont très tranchantes mais seule la partie avoisinant le sommet B découpe le sillon, la largeur AC étant de beaucoup supérieure à 70 microns. La durée de vie du burin est relativement courte et très aléatoire, c'est pourquoi un contrôle au microscope de l'état de la surface de coupe du sillon est fait très fréquemment.

Le disque gravé sur la laque est fragile. Il n'est jamais lu dans le cours du processus normal de



En haut, le graveur qui transfère les modulations de la bande magnétique sur la « laque ». En bas, perspective et vue de profil d'un burin de gravure.

fabrication. Lorsqu'on le lit, à des fins de contrôle, la qualité du son est excellente et exempte de tout bruit ; mais en raison de la mollesse de la laque, l'audition est assez sourde et manque d'aigus. Elle ne représente pas exactement la sonorité du disque qui sera commercialisé.

● **Opérations galvanoplastiques** (fig. 2D). Le disque en laque ⁽²⁾ n'est pas directement utilisable pour effectuer des dépôts métalliques par galvanoplastie puisque sa surface n'est pas conductrice. On doit procéder à un dépôt chimique d'argent obtenu en mélangeant sur la surface les jets de deux pistolets, l'un alimenté en formol-glucose, l'autre en argent ammoniacal. Le dépôt d'argent très mince, 0,1 micron, sert de support à un dépôt électrolytique de nickel obtenu en plongeant la laque argentée dans un bain de sulfate de nickel, l'anode étant en nickel pur. Après trois heures, on retire le disque et on décolle le dépôt de nickel ; le disque en laque argentée est jeté.

Le sillon sur le disque de nickel ainsi obtenu est en relief. Ce « père » ne peut donc pas être lu à des fins de contrôle. En recommençant l'opération de dépôt de nickel dans un autre bain, on obtient cette fois une « mère » dont le sillon est en creux. Ce disque est lu et dûment contrôlé car, depuis la bande magnétique finale, c'est la première fois que l'on peut avoir accès au son enregistré. Lorsque tout est correct, l'audition de ce disque métallique est d'une qualité que, malheureusement, on ne retrouvera plus : elle est dénuée de tout bruit et elle est très claire et brillante en raison de la dureté de la surface métallique dans laquelle la pointe du lecteur en diamant ne pénètre que très peu.

La « mère » ne peut évidemment pas être utilisée pour presser les disques puisque ceux-ci auraient un sillon en relief, d'où une dernière opération galvanoplastique aboutissant à une matrice en nickel ⁽³⁾.

● **Le pressage** (fig. 2E). La matière de pressage est un mélange d'acétochlorure et de chlorure de vinyle. Des additifs lui donnent sa teinte noire, facilitent le moulage, évitent la décomposition pendant le moulage et quelquefois empêchent la formation de charges électrostatiques qui attirent les poussières.

Les presses modernes sont automatiques, de sorte qu'une seule personne peut en contrôler plusieurs. L'opération est faite à une température de 150 °C sous environ 150 kg/cm².

Avant de sortir de la presse, le disque est refroidi par une circulation d'eau dans le moule, car le pressage d'un disque est gros consommateur de calories. Le cycle complet dure environ 30 s pour un disque de 30 cm, et 15 s pour un disque de 17 cm.

(suite page 94)

(2) Cet enregistrement, issu de la bande magnétique de 2^e génération, constitue donc une 3^e génération.

(3) Depuis l'argenture jusqu'à la matrice, le cycle des opérations est programmé et automatique ; on élimine ainsi l'intervention humaine et les irrégularités qu'elle introduit inévitablement.



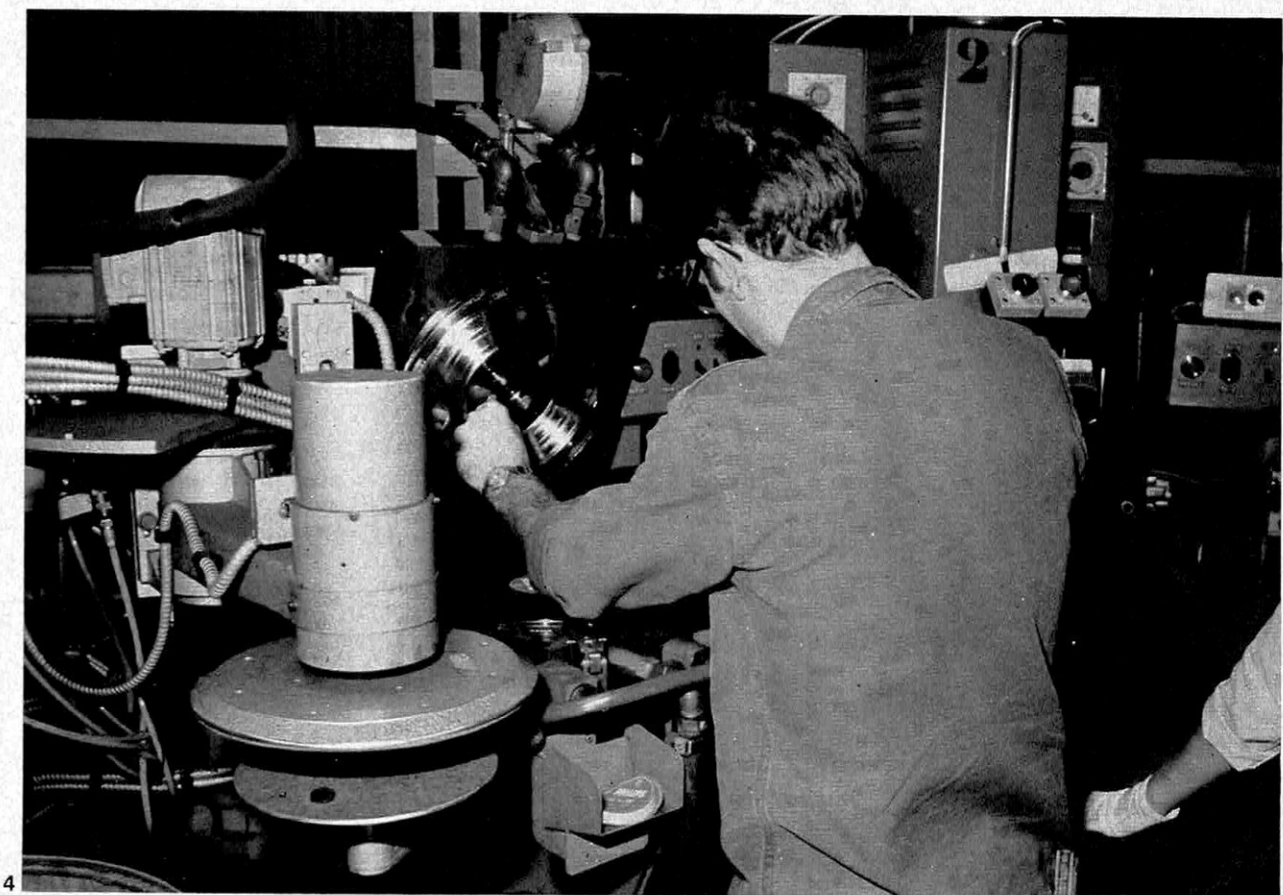
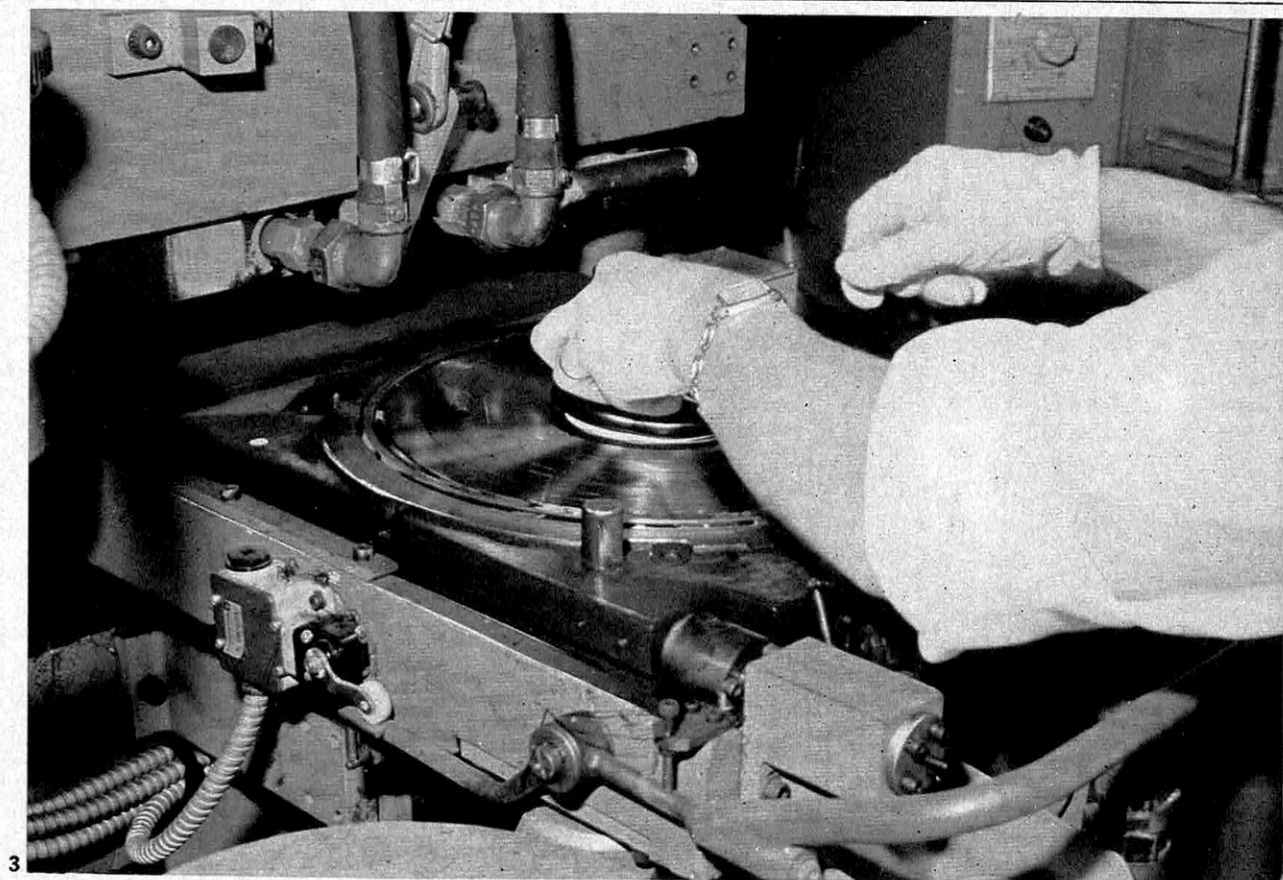
1



2

1. L'argenteur du disque en laque, qui rend sa surface conductrice, est indispensable aux opérations de replication par galvanoplastie qui con-

duiront aux matrices de pressage. 2. Pour les opérations de galvanoplastie, on utilise des bains de sulfate de nickel. Répétées plusieurs fois à



partir du disque original dont le sillon est en creux, elles aboutissent à la constitution des matrices de pressage aux sillons en relief. 3. Mise

en place de la pâte vinylique sur le plateau d'une presse dont une des deux matrices occupe le centre. 4. Vérification d'une presse.

Les disques fraîchement pressés sont soumis à un contrôle dont la profondeur varie avec la catégorie de prix. Les moins contrôlés sont les disques de 17 cm, 45 tours. Ceci est justifié par le bas prix de vente et le très fort niveau de gravure de la musique de variété, qui masque les bruits dus au moulage. Les disques les plus soignés sont écoutés en proportion de 1 pour 100, et inspectés un à un visuellement. Cette inspection visuelle, réalisée par du personnel entraîné, est d'ailleurs très efficace.

Lorsqu'un disque dépasse le seuil prévu, en niveau de bruit ou en nombre de défauts, un contrôle est effectué qui peut conduire au changement de la matrice de pressage. La durée de vie d'une matrice est très variable. En moyenne on presse par matrice 600 disques de 30 cm et 2 000 disques de 17 cm ⁽⁴⁾.

Nous passons sur toutes les opérations de finition, emballage, stockage etc., mais il faut savoir que, pour des sociétés importantes qui produisent en pointe saisonnière de l'ordre de 100 000 disques de 30 cm par jour, le stockage et l'expédition occupent des locaux très vastes et que la gestion de l'ensemble exige un ordinateur.

Mythes et réalités

La technologie des disques est si mal connue, souvent même de ceux qui ont pour mission d'en parler, que nous pensons utile de passer en revue les différents défauts que l'on peut rencontrer pour leur attribuer leur vraie cause et situer leur importance réelle ⁽⁵⁾.

Considérons d'abord les défauts non liés à la gravure proprement dite.

● **Voilage.** Le disque voilé n'est pas plat ; lorsqu'il tourne, nous voyons le phonoclecteur monter et descendre. Si le voilage est très prononcé, il peut produire une variation de hauteur du son, mais le pire arrive si, au lieu d'être réparti sur un tour du disque, le voilage est très court et ressemble plutôt à un gondolement local du disque. Dans ce cas, l'ensemble du bras et du phonoclecteur est excité par un choc et entre en résonance. On peut aller jusqu'au déraillement de la pointe hors du sillon et, en tout cas, subir un bruit sourd dans le haut-parleur.

Ce défaut se produit avec les presses manuelles encore en service, lorsque le presseur sort, à la main, le disque encore chaud du moule. Les disques ayant ce défaut doivent être refusés.

Quant au voilage réparti sur un tour du disque, on peut admettre pour lui une excursion verticale de 2 mm. La cause principale en est le stockage dans des enveloppes en carton qui se déforment selon l'hygrométrie de l'air.

Une autre cause de voilage est la présence de tensions internes dans la matière plastique. C'est là une maladie commune à tous les objets moulés. On peut la réduire par un recuit effectué en usine.

● **Excentrement.** Le disque ne « tourne pas rond » et le phonoclecteur est affecté d'un mouvement horizontal de va et vient, qui n'est pas toujours uniformément réparti sur un tour complet. Bien que la matrice ait été centrée avec une très grande précision au cours de la fabrication, les efforts exercés sur elle pendant le pressage sont si grands qu'il arrive qu'elle se déplace. Le résultat est un son qui « pleure », c'est-à-dire dont la hauteur monte et descend périodiquement. Dans les normes internationales, on admet un excentrement de 0,4 mm, mais cette valeur est malheureusement souvent dépassée.

Quant au diamètre du trou du disque, il doit être compris entre 7,33 et 7,24 mm. Le diamètre de l'axe du plateau ne doit pas être trop petit, car il introduirait un jeu ayant le même effet que l'excentrement du trou central.

● **Autres défauts mécaniques.** Il arrive qu'avec certains disques, l'arrêt automatique ou la descente automatique du phonoclecteur ne se fassent pas bien. Cela veut dire que le disque en question n'est pas conforme aux normes internationales qui sont très précises sur le point de vue dimensionnel. Ces normes sont appliquées dans le monde entier par tous les fabricants dignes de ce nom. Seuls quelques éditeurs marginaux restent en dehors.

● **Épaisseur des disques.** Le renchérissement du prix de la matière première et la possibilité de réduire la durée du cycle de pressage ont amené certains fabricants à gagner sur l'épaisseur des disques. L'excès conduit à des disques trop souples qui, lorsque leur diamètre dépasse notablement celui du plateau, sont en porte-à-faux. Ceci peut rendre la lecture impossible. Les disques de 30 cm pesant seulement 90 g sont dans ce cas. Il ne faudrait pas descendre au-dessous de 120 g, du moins avec la matière et la technique actuellement utilisées.

● **Echos.** Il arrive malheureusement trop souvent qu'au départ du disque, on entende très faiblement mais d'une manière perceptible, l'enregistrement dont le début réel ne se produit qu'au tour suivant. Ce défaut est appelé pré-écho. Il existe aussi un post-écho que l'on pourrait entendre après le son désiré, mais il est très généralement masqué par l'enregistrement. On peut parfois le percevoir à la fin d'une plage, dans le silence qui suit la dernière note.

Ce défaut est dû à des tensions internes dans le nickel déposé lors de la galvanoplastie du disque de laque argentée. Il n'existe donc ni sur la bande magnétique, ni sur la laque. Le pré-écho perçu dans le silence est pourtant très faible, son niveau généralement inférieur de plus de 60 dB (plus de 1 000 fois) à celui du son désiré, mais si celui-ci est très fort, comme cela arrive au début d'un morceau ou s'il s'agit d'un enregistrement de parole qui contient de nombreuses

(4) Si on considère que les opérations de galvanoplastie et de pressage ne modifient pas la gravure du sillon mais interviennent par l'emploi d'une autre matière-support, on peut dire que le disque pressé représente la 4^e génération depuis le son original.

(5) Bien entendu, nous nous occuperons seulement des disques neufs.



Jean-Pierre Bonnin.

explosives comme P, T, etc., la gêne peut être notable.

Il s'agit là d'une question de contrôle qui engage la responsabilité du fabricant. Des remèdes peuvent être apportés pendant les opérations galvanoplastiques mais, dans certains cas, le défaut ne peut pas être totalement éliminé.

Les défauts nés de la gravure

Les défauts qu'on attribue trop souvent à la gravure relèvent du principe même du disque ⁽⁶⁾. Des explications détaillées sortent du cadre de cet article. Disons que les causes principales sont que le sillon est découpé par le burin, outil à arêtes tranchantes, alors que la pointe de lecture du phonolecteur est arrondie (sphérique ou elliptique). De plus, la vitesse de défilement du disque est beaucoup plus grande à l'extérieur du disque qu'à l'intérieur. En résulte un tassement de la gravure qui devient de plus en plus diffi-

cile à lire à mesure que l'on se rapproche du centre du disque. Même si la gravure est sans défaut la lecture sera défectueuse.

On doit au moins tenir compte, au moment de la gravure, des limites de niveau qui ne sont pas les mêmes pour toutes les fréquences du spectre sonore. L'opérateur, aidé de dispositifs de contrôle automatique, doit se tenir dans les passages forts au-dessous des limites, mais il doit aussi ne pas s'en écarter trop car si la gravure n'a pas un niveau suffisant, les bruits parasites (souffle, grésillements...) vont prendre trop d'importance dans les passages piano.

Attribuer une note de qualité à la gravure n'a au total pas tellement de sens car on ne juge jamais que d'un résultat global, **gravure plus lecture**. Une gravure peut être qualifiée de trop forte ou entachée de distorsion alors que, lue avec un phonolecteur de la meilleure qualité

(6) Il n'existe pour le monde entier qu'une seule caractéristique de courbe de gravure qui, malheureusement, porte plusieurs noms : CCIR, RIAA, CEL. Cette caractéristique fondamentale est très exactement suivie par les éditeurs.

équipé d'une pointe elliptique, elle peut être excellente. Il faudrait disposer d'un équipement de mesure de laboratoire pour vérifier si la gravure dépasse les normes, encore que cette appréciation comporte une large part d'erreur.

En ce qui concerne la « dynamique », c'est-à-dire la gamme des niveaux compris entre les pianissimi et les fortissimi, laquelle, en musique classique, est très grande, il faut en accepter la réduction, au grand scandale des puristes. On ne peut en effet que tenir compte des conditions d'écoute, différentes dans une salle de concert et dans un appartement généralement peu isolé. Il serait facile de conserver la dynamique du concert « vivant », mais l'auditeur devrait constamment retoucher le gain de son amplificateur.

La dynamique d'un disque est de l'ordre de 35 dB, celle d'un concert de 60 dB. Signalons à cet égard le lancement du disque Trimicron au début de 1975. Sa durée par face est portée à 1 heure, au lieu de 30 mn, ceci en agissant simplement sur le niveau moyen de gravure qui est réduit de 8 dB environ (2,5 fois) et sur la dynamique qui est aussi fortement réduite. Il en résulte une audition très peu satisfaisante, sauf si l'on se contente d'une musique de fond.

La « compatibilité » est un autre sujet en général mal connu. Le principe de gravure est tel que lorsqu'un phonolecteur monophonique lit un disque gravé stéréophonique ou tétraphonique, le son obtenu soit le mélange, ou plus exactement la somme, des deux voies ou des quatre voies. En fait, les phonolecteurs monophoniques, en général bon marché, n'acceptent pas toujours bien la gravure stéréophonique qui fait se déplacer la pointe latéralement et verticalement. C'est pourquoi on a limité à une valeur maximale le déplacement vertical de la gravure. Ceci a pour inconvénient théorique de réduire, dans les fortissimi, l'écart des sources aux extrémités de la scène sonore. En pratique cette réduction n'est absolument pas perceptible, même par des spécialistes. Actuellement tous les disques stéréo sont « compatibles ».

On a parlé d'une qualité « extraordinaire » de disques dits à « enregistrement direct ». En pratique, ces disques sont gravés sans l'intermédiaire de l'enregistrement magnétique. Lorsque, dans les conditions habituelles, on passe au studio d'une « génération » à la suivante, il n'y a pas de défaut perceptible. Toutefois lorsque plusieurs générations s'ajoutent, une différence peut être perçue. C'est là d'ailleurs une méthode de laboratoire bien connue, dite itérative, qui consiste à faire une suite d'opérations enregistrement-lecture-enregistrement-lecture, etc. jusqu'à ce que des défauts deviennent nets.

Si l'enregistrement direct est possible dans quelques cas expérimentaux, il est définitivement du domaine du rêve en pratique pour des raisons bien simples. Dans le cas des variétés, le son est actuellement si « manipulé » que seule la bande magnétique à 12 ou 24 pistes peut permettre sa confection définitive. Quant au do-





Jean-Pierre Bonnin.

maine classique, nous ne sommes plus au temps du 78 tours dont la durée d'une face était de 4 à 5 mn, et il est presque impossible qu'un orchestre et des solistes jouent d'une traite pendant 30 mn sans demander quelques petites retouches. Restons donc prudents concernant ce genre d'innovation « fracassante ».

Pour en terminer avec la gravure, parlons un peu des rééditions en stéréo à partir d'anciens disques (ou bandes magnétiques) mono. Il est en effet possible, par des moyens électroniques, de créer une illusion de stéréophonie, ou plutôt de rendre floue une source sonore ponctuelle. L'opération réussit plus ou moins bien selon la nature de l'enregistrement original. Il peut paraître aberrant d'éditer en stéréo un très vieil enregistrement qui, de toute évidence, ne pouvait avoir été fait qu'en mono. Mais il est quasi-impossible aujourd'hui de vendre un disque qui ne porte pas l'étiquette « stéréo », le public croyant sans doute qu'il provient d'un fond de stock.

Peut-on cependant parler d'escroquerie, puisque la gravure a techniquement les caractéristiques stéréo ? Mais on doit trouver sur l'enveloppe une mention indiquant que ce disque est issu d'un enregistrement mono. Dans le cas contraire, l'éditeur a commis une faute grave. De toute façon ces disques doivent être considérés comme des documents et il ne faut pas en attendre une qualité sonore de premier ordre.

La qualité de l'enregistrement

On entend souvent dire que tel enregistrement est « bon » ou « mauvais » mais cela n'a aucun sens si on ne dit pas ce qui est bon ou mauvais. S'agit-il de l'équilibre sonore entre les graves et les aigus, de la clarté ou de la confusion, de l'interprétation, de l'ambiance sonore de la salle, de grosses basses anormalement prolongées, de sources sonores paraissant trop en avant ou trop éloignées, du respect du timbre des instruments, etc. ? Certains passent leur temps à comparer les éditions de provenances différentes, française, américaine, allemande, etc., de la même œuvre par le même artiste, issue de la même bande magnétique originale, et en tirent des conclusions douteuses, ainsi que nous le verrons plus loin.

Cette situation plutôt confuse est due à ce qu'on oublie que jusqu'à la gravure, l'enregistrement est une création dominée par la subjectivité. Le preneur de son, les interprètes, le directeur artistique, l'opérateur de la gravure réagissent selon leurs sensations et leur goût. A l'autre bout de la chaîne, le critique ou l'auditeur font de même. Par ailleurs, il est connu que les œuvres de certains compositeurs aboutissent toujours à des enregistrements confus et brouillés, alors que d'autres sont si claires et transparentes qu'elles semblent avoir été composées spécialement pour être enregistrées.

Quant aux diverses éditions de la même œuvre, il faut se rappeler que le goût varie d'un

pays à l'autre. Dans les échanges de bandes magnétiques, par exemple entre la France et l'Angleterre, il est fréquent que les Français ajoutent des aigus. De plus, il est très rare que l'opérateur de la gravure dispose du disque étranger aux fins de comparaison car les deux disques sont souvent commercialisés en même temps. Quant à la bande copie reçue de l'étranger, c'est une nième génération et rien ne prouve qu'elle est conforme à la bande originale. Enfin la gravure étrangère a pu être faite avec des corrections ou additions que l'on ignore.

Si nous nous sommes étendus sur cet aspect subjectif, c'est pour montrer le caractère aléatoire de ce problème. Les jugements de valeur analytiques ne peuvent guère être le fait que de quelques spécialistes. Les autres ne peuvent faire mieux que de se référer à leurs goûts personnels.

La qualité du pressage

Les bruits parasites, qui sont la plaie de la fabrication des disques, sont presque tous produits par le pressage. Ces bruits (souffle, claquements, grésillements...) ont des causes diverses. Bien que la probabilité de leur présence soit moindre avec l'emploi d'une matière neuve qu'avec une matière dans laquelle est incorporé un certain pourcentage de produits récupérés, elle n'est malheureusement pas exclue. Il s'en faut.

Il peut exister dans les usines trois ou quatre qualités de matière, mais les différences entre elles ne portent que sur les proportions de matière récupérée, provenant de disques refusés au contrôle, retours de clients ou fond de stock (bien entendu, l'étiquette en papier a été enlevée).

La matière pure est réservée au pressage des disques de 30 cm classiques qui sont ceux auxquels on apporte un soin particulier. Nous ne considérerons donc pas les disques de variétés de 30 cm ni surtout de 17 cm (dont on sait que la qualité, beaucoup moins contrôlée, peut varier dans de grandes limites).

En nous limitant donc aux disques classiques de 30 cm, il n'existe en France que trois sociétés fabriquant des produits convenables (7). Deux d'entre elles, représentant plus de 70 % du marché, ont atteint depuis quelque temps une qualité tout à fait comparable à celle des disques allemands qui bénéficient depuis longtemps d'une excellente image de marque. Le troisième producteur, pour des raisons évidentes de concurrence, prend maintenant des mesures pour s'aligner sur les deux autres.

En ce qui concerne la qualité des productions étrangères, toujours pour les disques de 30 cm classiques, on peut placer en tête l'Allemagne, suivie d'assez loin par l'Angleterre, les productions américaines étant les moins bonnes.

Pierre GILOTAUX

(7) Il existe bien des disques de 30 cm classiques très bon marché, mais nous ne les faisons pas entrer en ligne de compte.

les numéros « HORS SÉRIE » disponibles



**POUR RÉPONDRE A LA DEMANDE
DE NOMBREUX LECTEURS, NOUS
INDIQUONS CI-DESSOUS UNE
SÉLECTION DE NUMÉROS HORS
SÉRIE ENCORE DISPONIBLES**



- N° 62 WEEK END (1963)
- N° 74 HABITATION (1966)
- N° 91 NAVIGATION DE PLAISANCE (1970)
- N° 96 AUTO 71-72 (1971)
- N° 98 MARINE (1972)
- N° 99 NUTRITION ET DIÉTÉTIQUE (1972)
- N° 100 AUTO 72-73 (1972)
- N° 101 PHOTO CINÉ SON (1973)
- N° 102 INFORMATIQUE 73 (1973)
- N° 103 AVIATION 73 (1973)
- N° 104 AUTO 73-74 (1973)
- N° 105 HAUTE FIDÉLITÉ (1973)
- N° 107 BIOLOGIE 74 (1974)
- N° 108 CHÉMIN DE FER 75 (1974)
- N° 109 PHOTO CINÉ (1974)
- N° 110 NOUVELLES SOURCES D'ÉNERGIE (1975)
- N° 111 AVIATION (1975)
- N° 112 LE CERVEAU ET LA PENSÉE (1975)

BON DE COMMANDE

à découper ou recopier et à retourner à Science et Vie, 5, rue de la Baume - 75008 Paris.
VEUILLEZ M'ENVOYER LES HORS SÉRIE:

N°

JE JOINS 8,80 F (franco) par EXEMPLAIRE
RÈGLEMENT A L'ORDRE D'EXCELSIOR-PUBLICATIONS

☐ C. C. P. 3 volets (sans indiquer le n° de compte)

☐ C. Bancaire

☐ Mandat Poste

NOM

PRÉNOM

ADRESSE

LES PLATINES ET LEURS MÉCANISMES

Les perfectionnements récents des platines tourne-disques, des bras et cellules de lecture n'ont pas toujours porté sur les mécanismes vraiment essentiels. Certains d'entre eux restent un peu négligés. A côté de cela, les nouveaux procédés de restitution sonore, tels que le CD 4 tétraphonique, ont eu d'heureuses retombées sur la conception et les performances des cellules de lecture en général.

● Une page de publicité parue récemment montrait un disque tournant sur l'extrémité d'un crayon tenu dans une main. Une cellule de lecture, tenue par l'autre main, était posée sur le disque. Le grand constructeur de platines qui avait fait paraître cette publicité disait : « Nous ne savons faire que cela, mais nous le faisons parfaitement. »

Tout le problème de la lecture des disques est ainsi résumé : d'une part, faire tourner le disque ; d'autre part, poser correctement dessus la tête de lecture. Ce problème, simple en apparence, entraîne souvent des solutions compliquées.

L'entraînement du plateau sur lequel repose le disque doit se faire à une vitesse précise et stable. Le résidu de petites variations de vitesse et de trépidations restera négligeable. Quant au bruit produit par la mécanique en mouvement, il ne doit pas être perceptible en audition directe ou à travers le phonolecteur.

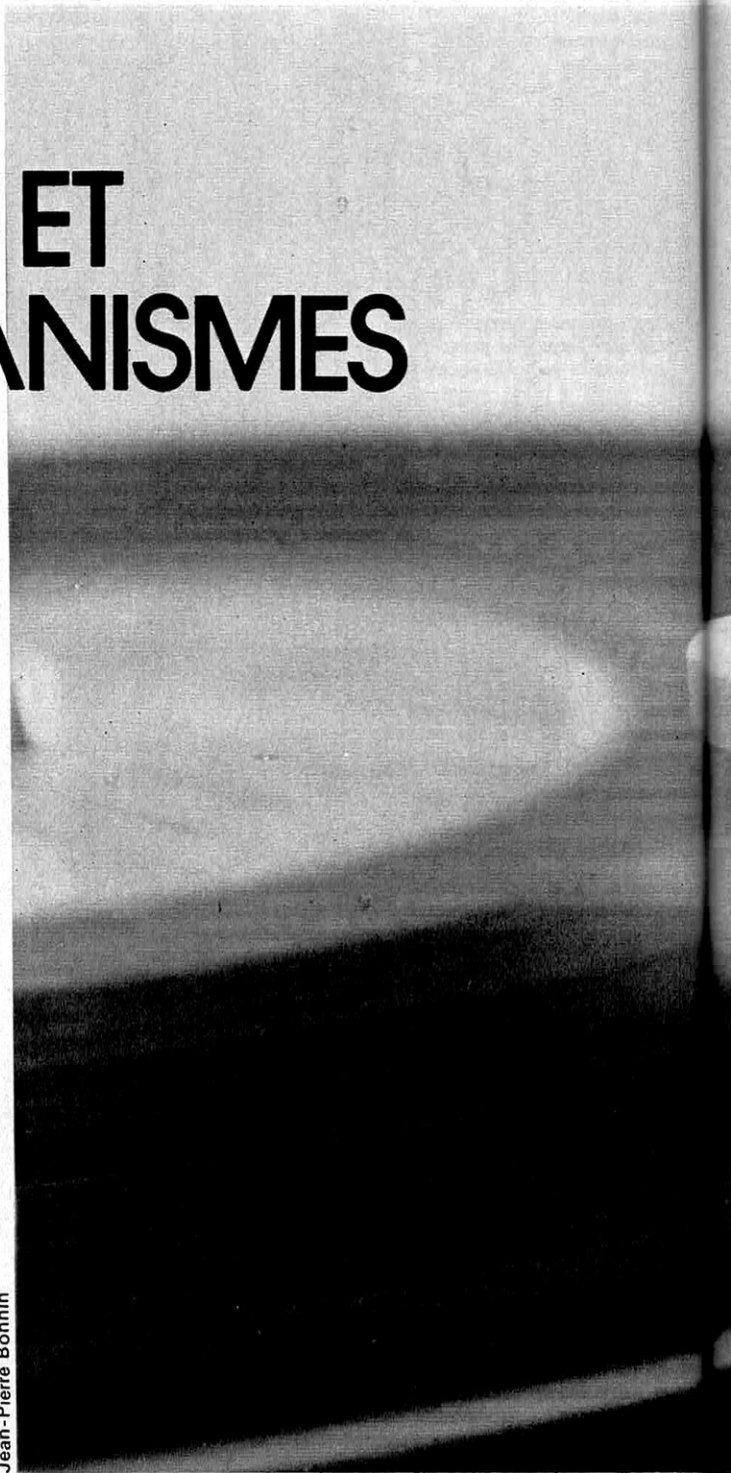
Toutes ces conditions sont inégalement remplies par les mécaniques modernes. Si les caractéristiques

essentielles sont obtenues sans problème, quelques points faibles peuvent subsister.

L'entraînement à une vitesse déterminée (il ne reste plus que deux valeurs, 33 1/3 et 45 tr/mn, ce qui simplifie le problème) est obtenu à partir d'un moteur dont la vitesse de rotation est connue, et d'un système démultiplicateur réalisé par des poulies de diamètres différents. Une variante consiste à faire tourner le moteur à des vitesses différentes suivant la valeur que l'on veut obtenir pour la rotation du plateau.

Le débat à propos de ces deux solutions est

Jean-Pierre Bonnin



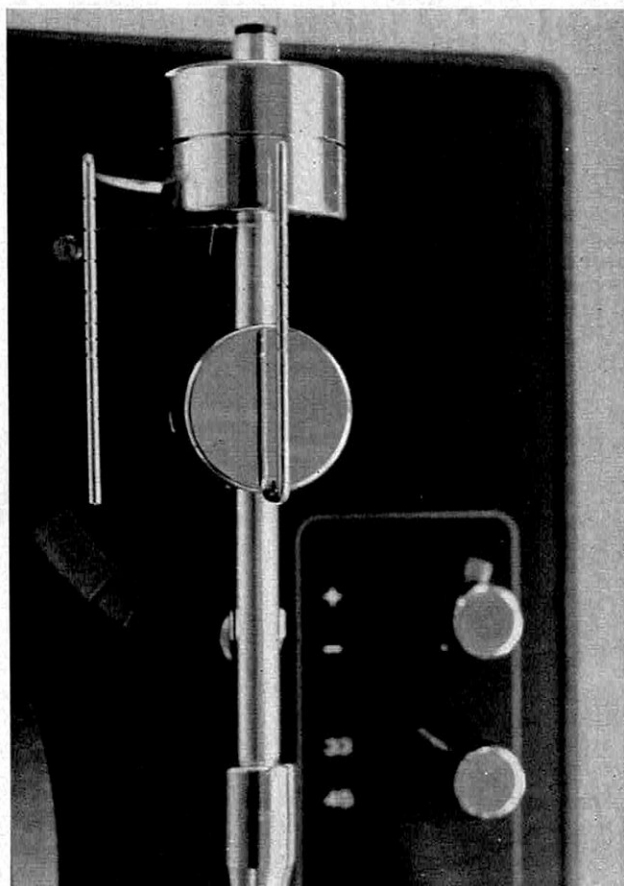
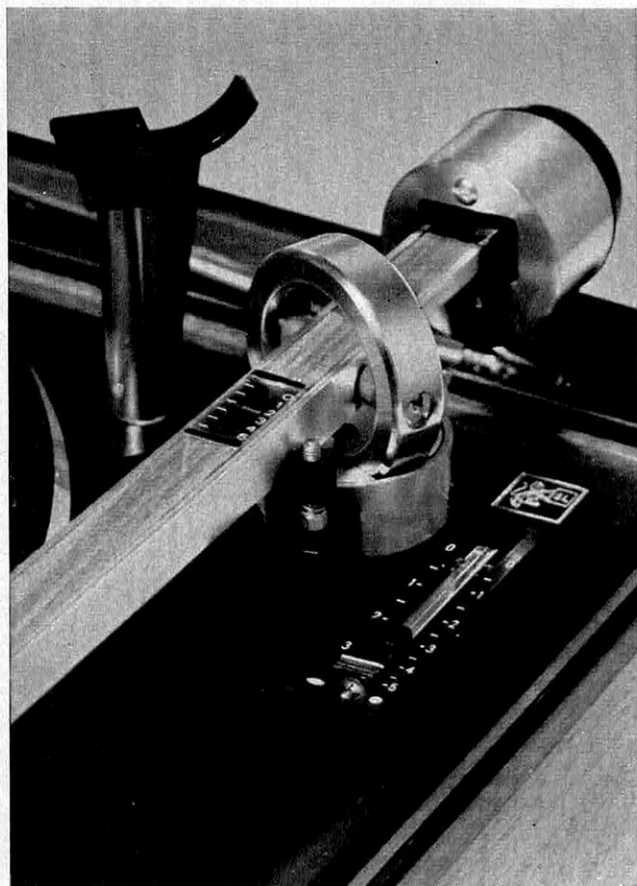


en fait inutile et chaque constructeur peut choisir la méthode qui lui convient. L'oreille est en effet très peu sensible au manque de justesse de la vitesse de rotation du plateau, qui se traduit en principe par une variation de la hauteur absolue des sons. On obtient assez facilement, aujourd'hui, une précision suffisante.

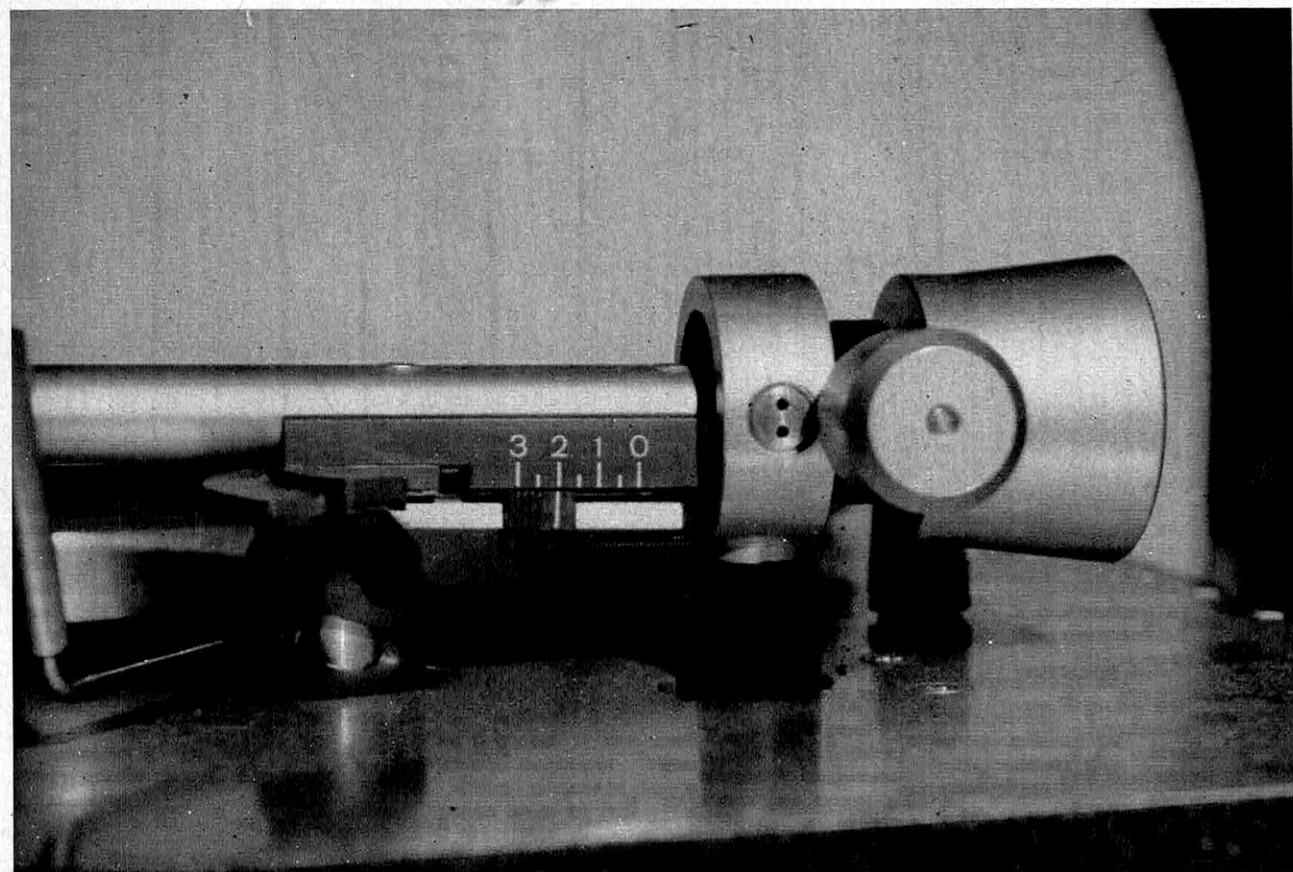
Une technique d'entraînement fait donc appel à un moteur à faible vitesse sur l'axe duquel on pose directement le plateau ; c'est le raccourci des tourne-disques à entraînement direct : si l'on fait tourner un moteur à $33 \frac{1}{3}$ ou à 45 tr/mn,

on parvient à se passer des intermédiaires. Cette apparente simplification est assez trompeuse, car les circuits électroniques de commande et de régulation ainsi que la conception inhabituelle du moteur font que le prix de revient est élevé pour des résultats que l'on peut tout aussi bien obtenir avec des procédés traditionnels.

Dans tous les cas où le moteur n'est pas partie intégrante du plateau, on doit prévoir une transmission de la force motrice. Celle-ci est réalisée au moyen d'un galet caoutchouté qui sert de poulie intermédiaire, d'une courroie souple, ou



J. P. Bonnin



Tous les raffinements de réglage destinés à ajuster la force d'appui, l'équilibre dynamique dans les différents plans, la compensation de la force centripète, deviennent inutiles si les pivots d'articulation du bras ne sont pas réalisés avec un très

grand soin. Les forces qui déplacent tout le bras sont en effet empruntées au disque par l'intermédiaire de la pointe de lecture. Elles doivent toujours rester faibles. Dans le cas contraire, une usure prématurée du disque est à craindre.

même de la combinaison des deux.

Le galet présente l'avantage de simplifier le changement de vitesses, surtout si l'on veut le munir d'un réglage fin. En ce cas, une légère conicité de chaque étage de la poulie à gradins permet, par déplacement du galet, de faire varier légèrement la vitesse autour de la valeur moyenne choisie. L'inconvénient du galet est qu'il transmet plus facilement qu'une courroie les vibrations du moteur à la pointe de lecture.

La courroie d'entraînement est choisie très élastique, ce qui réalise un système efficace de filtrage des petites vibrations du moteur, associé aux masses en mouvement de la poulie d'entraînement et du plateau qui forment des volants d'inertie régulateurs. Une fourchette vient déplacer cette courroie sur une poulie à deux étages pour réaliser le changement de vitesses. Un tel système n'a été rendu possible que par l'abandon des vitesses extrêmes de 78 et de 16 tr/mn, car il eût été délicat à réaliser pour quatre vitesses.

Quelques rares constructeurs ont associé les deux transmissions, galet plus courroie, pour en allier les avantages.

Poids du plateau et accessoires

Une mode provenant du domaine professionnel avait mis en vogue pendant longtemps l'emploi de plateaux très lourds. La volonté d'obtenir une grande robustesse n'en était pas la cause principale. On notait surtout que plus le plateau est lourd, plus il agit en régulateur.

Mettre en mouvement un plateau de trois kilogrammes pour entraîner un disque de 150 g peut cependant paraître disproportionné, et quelques firmes, dont ERA, ont préconisé des plateaux légers. La régulation de leur mouvement est obtenue par une courroie beaucoup plus souple et par une amélioration d'éléments tels que le moteur, réalisé avec 24 pôles au lieu de 4.

Il semble aujourd'hui qu'on arrive à une conception plus mesurée des choses et que le poids du plateau se stabilise aux environs de un kilogramme. Avec ce poids de plateau, on peut entraîner le disque par un moteur de dimensions et de puissance raisonnables. La rotation d'un plateau de poids moyen produit d'ailleurs moins de bruits parasites qu'un système lourd.

La notion de bruit de fond est, en effet, souvent mal abordée dans l'énoncé des performances que les constructeurs livrent à la méditation des futurs acheteurs. La valeur indiquée concerne habituellement le ronronnement, c'est-à-dire le bruit que la cellule de lecture lit sur le disque, lui-même mis en vibration par les trépidations de la machinerie. On évalue le signal ainsi provoqué en lisant un sillon sur lequel il n'y a aucune modulation. Le résultat est exprimé sous la forme d'un rapport signal/bruit. Mais cette méthode ne donne pas d'indication sur un autre bruit, celui produit par le moteur de la platine et transmis directement par voie aérienne. Lors d'une démonstration du matériel, il faudra

s'assurer que ce bruit est négligeable pour ne pas risquer ultérieurement de se trouver gêné lors d'écoutes à faible niveau.

La commodité d'utilisation ne doit pas être oubliée, et il sera souvent préférable de la faire intervenir comme critère de choix d'un modèle à la place de caractéristiques souvent situées dans le « plus que parfait ». Hésiter entre 0,03 % et 0,02 % de fluctuations de la vitesse paraît puéril, car on risque de se retrouver en possession d'une platine inutilisable lorsqu'on se déplace dans la pièce, à cause de sa suspension insuffisante.

Le stroboscope, qui permet de vérifier que la vitesse de rotation est bien exacte, n'est installé à demeure que sur des platines qui ont un réglage fin de la vitesse. Souvent très sophistiqué, il n'est pas réellement indispensable et peut être remplacé par le petit disque en carton que l'on lit à la lumière artificielle pour le réglage éventuel à faire de temps en temps.

Le pose-bras est par contre un accessoire très appréciable. On devra vérifier qu'il remplit bien son rôle, que la descente de la pointe sur le disque se fait en douceur et à l'endroit que l'on espérait atteindre. De même, lorsque l'on relève et que l'on abaisse la pointe de lecture, elle doit rejoindre le sillon qu'elle avait quitté.

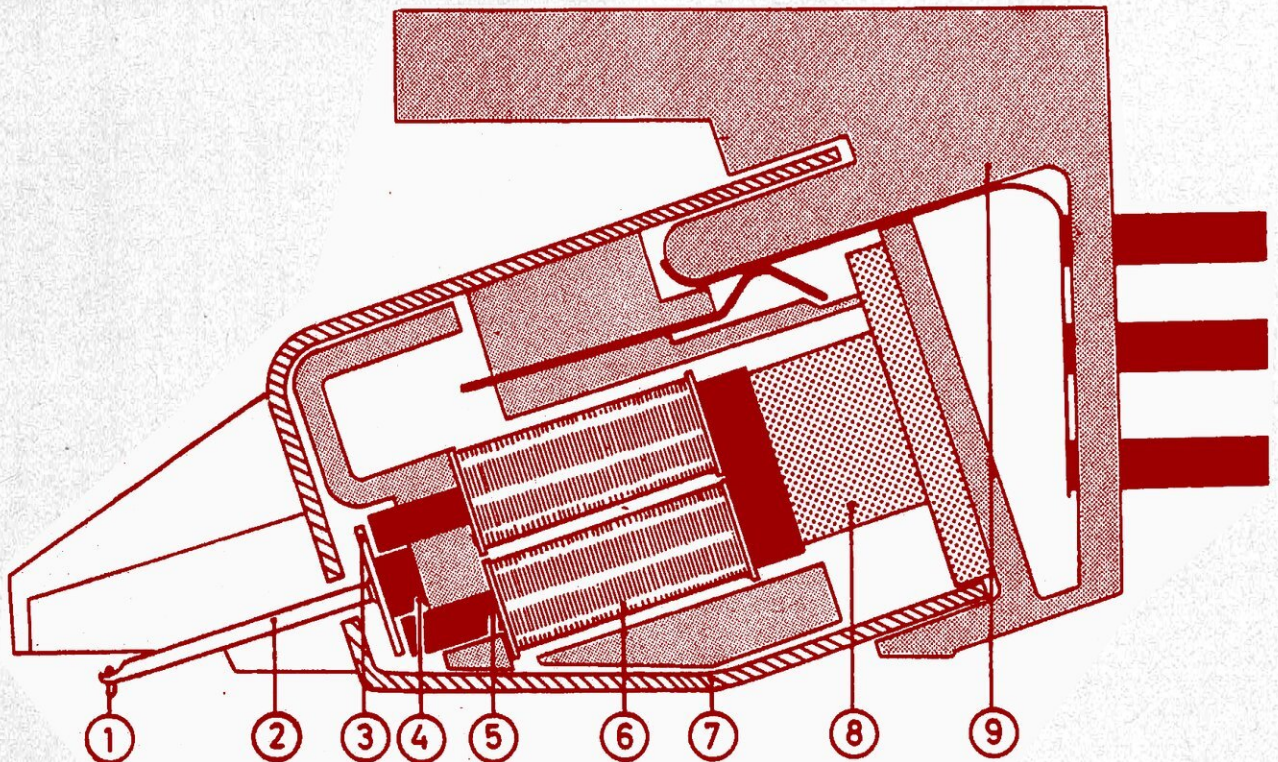
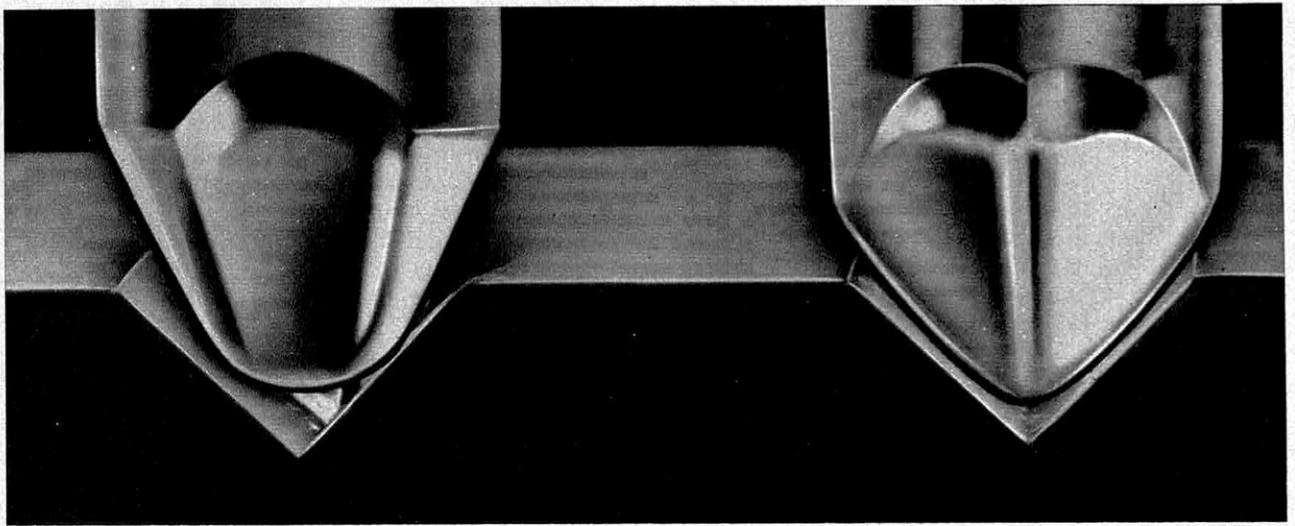
Les automatismes adoptés sur certaines platines de qualité n'ont pas d'influence néfaste sur le fonctionnement de celles-ci. Loin derrière nous est le temps où l'arrêt automatique perturbait à chaque tour la rotation du plateau. Il est raisonnable d'exiger d'un mécanisme tourne-disques qu'il s'arrête lorsque le disque est fini. Pourtant, certains constructeurs n'offrent même pas ce premier automatisme.

Nous estimons, par contre, que les systèmes de changement de disques sont inutiles en haute-fidélité, le disque 45 tours ne figurant habituellement pas dans la discothèque de l'amateur de Hi-Fi et le changement automatique des 33 tours n'ayant pas de raison d'être.

Un perfectionnement intéressant qui, nous l'espérons, se généralisera, consiste à utiliser pour les différentes commandes des touches à effleurement. L'intérêt n'est pas dans l'aspect un peu futuriste de tels appareils, mais tient à ce que la manœuvre d'une clé ou d'un commutateur fait souvent sauter la tête de lecture si la suspension est souple et que les commandes se trouvent sur la partie suspendue. Malheureusement, les circuits exigés par les commandes à effleurement sont assez complexes et, actuellement, peu de constructeurs les proposent.

Les bras de lecture

La tâche confiée au bras est de guider la cellule sur le disque de façon à faire suivre à la pointe de lecture un chemin identique à celui qu'a suivi le burin graveur. Ce chemin est un fragile sillon auquel on demande, outre de porter sur ses flancs la modulation, de guider la cellule du début à la fin du disque. Habituelle-



La tétraphonie a conduit à la conception de nouvelles pointes et têtes de lecture. En haut, comparaison de la taille elliptique et de la taille Pramanik. En bas, tête de lecture Bang et Olufsen :

1 - diamant Pramanik ; 2 - stylet beryllium ; 3 - pièces magnétiques mobiles ; 4 - suspension élastique ; 5 - pièces polaires ; 6 - bobinages ; 7 - blindage ; 8 - aimant ; 9 - support.

ment, aucune force autre que celle prise sur ce sillon ne fait déplacer le bras pendant la lecture, sauf sur les modèles à bras tangentiel.

Un certain nombre des paramètres de ce problème complexe sont aujourd'hui bien maîtrisés. Quelques points importants restent cependant négligés, pour la simple raison que l'escalade technologique provoquée par la publicité s'est appuyée sur d'autres aspects. Citons par exemple le problème de l'erreur de piste qui n'en est plus un aujourd'hui sur aucune platine. Il s'agit de l'écart d'angle que peut présenter la cellule de lecture par rapport à la position qu'occupait le burin graveur lors de l'inscription du signal. Un écart supérieur à 2 degrés peut conduire à une

certaine distorsion. Des solutions extrêmement coûteuses ont été mises en œuvre pour annuler cet écart (alors qu'il en existe de simples et éprouvées, par exemple le bras long et coudé). Si le gain en qualité est réel, il reste limité et ne justifie pas la complexité de tels mécanismes, à moins que tout le reste soit de la même classe.

S'il est normal de se préoccuper des erreurs d'angle dans un plan horizontal, pourquoi se soucie-t-on si rarement de l'erreur dans le plan vertical ? Celle-ci provoque les mêmes distorsions que l'autre, puisque la stéréophonie fait appel aux deux directions. Pourtant, fait étrange, on tolère ici une variation de 0 à 20 degrés, soit vingt fois plus que précédemment. Nos me-

sures ont fait apparaître qu'il était sage de se tenir dans une plage de 5 degrés autour de la valeur conseillée par les constructeurs de cellules et les éditeurs de disques.

Cet angle vers l'avant par rapport à la verticale a été fixé à 15° puis dernièrement porté à 18°. Il est donc correct d'accepter une valeur comprise entre 15° et 20°. La difficulté est que cette valeur dépend du constructeur de la cellule, de la platine, et aussi de l'épaisseur du ou des disques posés sur le plateau. Dans ces conditions, on préfère la passer sous silence. Peut-être un jour mènera-t-on une bataille à grands coups de pages publicitaires pour le dernier demi-degré...

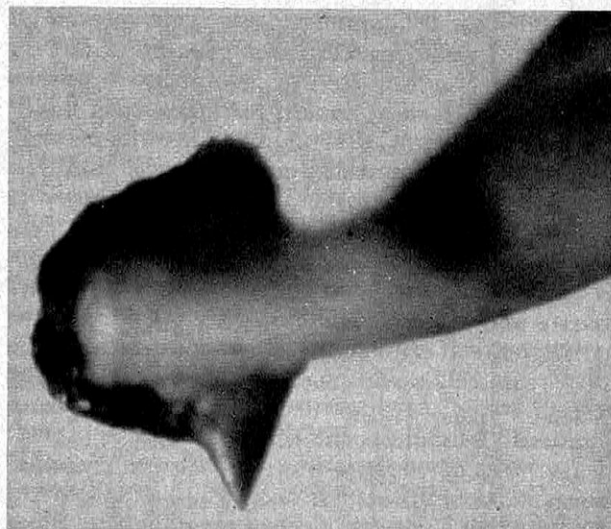
Actuellement, un bras parallèle au disque devrait suffire à garantir un angle de lecture correct avec n'importe quelle cellule. La plupart des bras de lecture ne sont pas réglables en hauteur au niveau du pivot et le parallélisme ne pourra être obtenu qu'avec des cales plus ou moins éparses qui compensent les variations de hauteur des diverses cellules. Les changeurs de disques comportent parfois une compensation en fonction du nombre de disques utilisés.

Le réglage de compensation de poussée latérale ou antiskating n'a d'utilité qu'avec les bras de lecture qui pivotent, les bras tangentiels ne provoquant pas, par définition, de poussée latérale. La vérification du bon fonctionnement est facile avec un disque lisse. La pointe doit rester sur un même cercle sans se rapprocher ni s'éloigner du centre.

Ce raffinement technique ne doit pas abuser. Nous avons vu des platines de faible qualité sur lesquelles l'antiskating était installé, et dont on pouvait faire varier la valeur de réglage dans de fortes proportions sans que le diamant posé sur un disque lisse ne quitte son cercle. L'explication de cette stabilité tenait simplement à ce que le bras était trop difficile à mouvoir et restait là où on le plaçait. Malheureux sillon qui doit alors pousser latéralement ce bras si résistant !

La mobilité du bras sur ses pivots est une qualité fondamentale que ne vantent que très rarement les notices des constructeurs. Cette caractéristique se traduit évidemment par des performances plus ou moins bonnes lors des mesures de distorsion ou d'aptitude à la lecture de signaux de grande amplitude. Si les résultats sont mauvais, on ne sait alors plus quoi accuser, du bras ou de la cellule.

Entre deux bras de qualité ou de réputation égales, il est préférable de retenir celui qui s'équilibre avec les plus petits contrepoids. Les masses placées à l'avant et à l'arrière du pivot horizontal s'équilibrent et la force d'appui est toujours parfaitement réglable. Il existe cependant des disques plus ou moins voilés, et un bras qui présente une grande inertie provoquée par ces masses risque d'avoir quelques difficultés à suivre le profil en montagnes russes d'un disque gondolé. L'important est tout de même de ne pas laisser ses disques se détériorer. Il faut ajouter qu'en cas de fausse manœuvre un bras léger sera moins dangereux pour les disques.



J. P. Bonnin

La minuscule pointe de lecture (dans ce cas, elliptique), objet de tant d'études et de débats.

Nous avons évoqué la difficulté de séparer, dans le bilan de qualité d'une platine, ce qui tient au bras et à la cellule. Certaines caractéristiques mécaniques interfèrent beaucoup. Une cellule trop souple sur un bras difficile à mouvoir s'écrasera sous la charge. Et le poids de la cellule modifie les fréquences pour lesquelles le bras présente des résonances mécaniques. Quant à l'erreur d'angle de lecture et d'angle de piste, elle provient du bras, mais c'est la cellule qui en tirera un plus ou moins mauvais parti.

Il est donc un peu gratuit de parler de distorsion ou de capacité à lire les grandes amplitudes si l'on ne précise pas quelle est l'association du bras et de la cellule. Pour cette raison, il est utile de se renseigner auprès du constructeur de la platine pour savoir quelle est la cellule ou les cellules les mieux adaptées au bras. Lorsque le même constructeur fournit ou fabrique les deux éléments, on peut penser qu'ils sont convenablement adaptés.

La pointe de lecture

La technologie des cellules a considérablement évolué ces dernières années. Si aucun principe nouveau n'a vu le jour en ce qui concerne le corps de la cellule, les diamants et porte-diamants ont eu fort à faire pour s'adapter aux modulations quadriphoniques. Ceci a entraîné de profondes modifications portant sur la taille, avec la création de nouvelles formes venant relever la pointe elliptique quelquefois controversée.

L'introduction par Nivico du procédé quadriphonique CD 4 a même obligé les constructeurs à reconsidérer complètement le problème de la lecture d'un sillon. Le CD 4 opère par modulation d'une fréquence porteuse située à 30 kHz qui vient s'ajouter au signal de la modulation stéréophonique habituelle. L'incursion dans le domaine ultrasonore s'étend jusqu'à 50 kHz, valeur qu'il est nécessaire de restituer convenablement.

Ceci n'est évidemment pas à la portée de toutes les cellules. Mais les progrès réalisés à cette occasion ont eu des retombées multiples, les améliorations ne jouant pas que sur la bande passante. Le fait d'avoir étendu celle-ci dans l'ultrasonore a conduit à reculer vers l'inaudible les perturbations provoquées par la résonance de l'équipage mobile. En stéréophonie, il se produit une amélioration de la réponse dans l'aigu, les écarts de niveau en fonction de la fréquence tenant dans une fourchette plus étroite. La séparation des canaux est plus importante et la distorsion se trouve diminuée du fait qu'il a fallu alléger l'équipage mobile pour obtenir la restitution de fréquences très élevées.

La matière constitutive d'un disque est assez abrasive et, pour éviter une usure trop rapide, on fabrique la pointe de lecture dans des matériaux à grande dureté, tels le saphir ou le diamant industriels. La difficulté de la taille des pointes avait conduit, au début de la haute-fidélité, à se limiter à des formes simples. Les premières pointes de lecture imaginées avaient une forme conique, l'extrémité du cône n'étant pas pointue mais arrondie suivant un rayon qui définit la dimension de la pointe.

Pour les disques stéréophoniques, le rayon de 13 micromètres a été quelque temps utilisé, mais la création de disques compatibles a permis l'utilisation d'une pointe universelle à 18 micromètres convenant aussi bien à la monophonie qu'à la stéréophonie, compatible ou non.

L'étude du mouvement de la pointe dans des sillons à forte courbure allait amener à concevoir des formes non sphériques. La première est la pointe elliptique. On l'obtient à partir de la précédente en pratiquant deux méplats de grande dimensions en vis-à-vis. La pointe de lecture, dont la forme est beaucoup plus proche de celle du burin qui a servi à graver le disque, suit beaucoup plus fidèlement le tracé du sillon.

La restitution correcte des fréquences très hautes dans le procédé CD 4 utilise une taille dérivée de la précédente. La taille Shibata place les deux méplats de la pointe de lecture du même côté, faisant entre eux un angle obtus. On est encore plus près de la forme du burin graveur.

Un dernier procédé de taille, le procédé Pramanik, du nom d'un ingénieur de la célèbre firme danoise, est proposé par Bang et Olufsen. Les facettes genre Shibata sont alors pratiquées des deux côtés du diamant, ce qui mène à quatre facettes et élimine l'important arrondi arrière qui avait des difficultés à suivre le sillon dans les virages très serrés.

Des études sur l'usure des disques par la pointe de lecture ont montré que celle-ci pouvait détériorer irrémédiablement le sillon en quelques passages dans des conditions d'emploi incorrectes. La force d'appui a évidemment une grande importance et, pour cette raison, nous conseillons toujours d'appliquer une valeur comprise entre deux et trois grammes. Là n'est cependant pas la seule cause de détérioration, la masse dynamique de la pointe de lecture ayant

une responsabilité flagrante dans cette usure. Une valeur supérieure à 2 mg entraîne non seulement une distorsion importante au moment de la lecture mais, ce qui est plus grave, l'inscription de cette distorsion de façon indélébile sur le sillon. Cette masse dynamique mesure l'inertie de la pointe de lecture et de sa suspension ; une grande inertie empêchera la pointe de suivre les mouvements rapides qu'impose le sillon finement gravé et le diamant se frayera un chemin plus court en repoussant la matière du disque. La taille elliptique est, dans ce cas, un meilleur *burin* que la taille conique, ce qui veut dire que ses qualités se transforment en défaut. Il ne suffit donc pas d'avoir un bon diamant pour faire une bonne cellule de lecture. Tout doit être homogène si l'on ne veut pas provoquer une usure prématurée des disques.

La cellule et ses problèmes

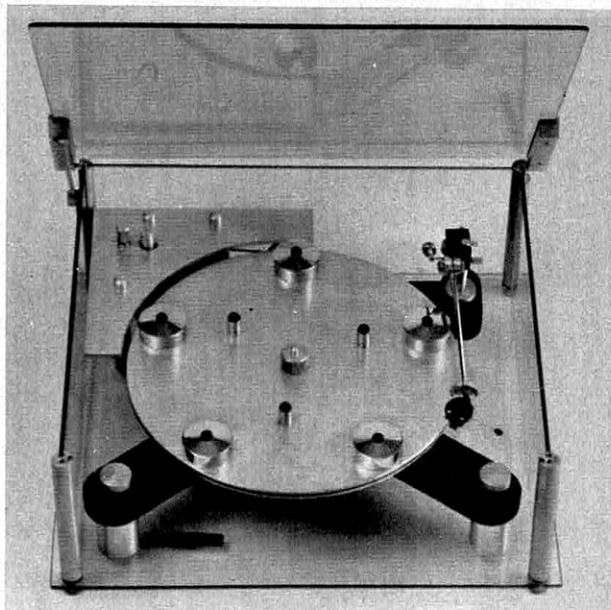
Entre le corps de la cellule et le stylet se trouve un raccord élastique qui maintient ce dernier dans une position d'équilibre. Trop élastique, le raccord ne retient plus la partie mobile (l'équipage mobile) dans l'espace qui lui est alloué ; il peut alors toucher des pièces de maintien ou s'éloigner de la partie fixe, diminuant, déformant ou annulant le signal lorsque les diverses forces qui sollicitent la pointe entrent en application. Il ne faut pas oublier que c'est le sillon qui pousse le bras de lecture de l'extérieur vers le centre du disque et que la force d'appui n'est pas la seule qui agisse sur cette suspension.

À l'inverse, le manque d'élasticité du raccord présente l'inconvénient d'ajouter, aux forces perturbatrices dues à la masse dynamique, des forces proportionnelles à l'élongation, ce qui contribue à empêcher la lecture des fortes modulations.

Il est certes plus facile pour un constructeur de réaliser une cellule à faible élasticité, le centrage de la partie mobile par rapport à la partie fixe étant beaucoup moins délicat. On peut alors réduire la distance entre les deux parties, ce qui se traduit en général par une augmentation du niveau de sortie avec des moyens simples.

Quoi qu'il en soit, on choisira toujours la plus grande élasticité, souvent désignée par le terme anglo-saxon de *compliance*, qui soit compatible avec les moyens financiers dont on dispose. Elle est l'indice d'une plus grande qualité de la cellule, liée de très près à la survie des disques.

Nous avons donc un stylet, attaché élastiquement au corps de la cellule d'un côté et portant une pointe de lecture à l'autre extrémité. Assez près du point d'attache, un aimant microscopique, une pièce de fer doux, un microbobinage ou l'extrémité d'une lamelle de céramique ou de silicium forment la partie mobile du capteur. La tige du stylet est chargée de transmettre les vibrations du diamant à ce capteur. Sa rigidité doit lui interdire de déformer les signaux et sa masse ne peut être importante, car elle représente une bonne partie de la masse dynamique.



Quand l'originalité s'appuie sur l'innovation technique : ici, les masses périphériques produisent un effet de volant maximum pour un poids minimum.

L'aluminium était considéré jusqu'à une période récente comme le métal le plus approprié pour la construction de cette pièce délicate. Le béryllium est venu, avec de nombreux atouts, prendre sa relève. Ce métal est encore plus léger que l'aluminium et, surtout, sa rigidité est quatre fois plus grande ; le son s'y propage deux fois plus vite. Ceci veut dire qu'une éventuelle résonance parasite se trouvera plus facilement reportée au-dessus de la bande passante puisque sa fréquence sera multipliée par deux. La technologie du béryllium est cependant délicate et son emploi est réservé aux phonocapteurs de grande qualité.

L'énergie mécanique empruntée au disque est transformée en énergie électrique par cet élément que nous nommons transducteur. Le principe utilisé fait appel à une loi physique de transformation d'un mouvement ou de sa vitesse en courant électrique ou en variation de résistivité d'un matériau. Il n'y a certes pas eu de révolution en la matière au cours des dernières années. Mais certains principes, sont encore peu connus et nous pensons utile de les récapituler.

Les cellules phonocaptrices à semi-conducteurs. Certains semi-conducteurs convenablement dopés ont la propriété de voir leur résistivité changer en fonction de la pression qui leur est appliquée. Une pastille d'un tel matériau est installée à cheval sur une gorge pratiquée en travers d'un barreau élastique en résine epoxy. La flexion du barreau entraîne une compression plus ou moins grande de la pastille. Une source de courant alimente le système, ce qui permet de retirer un courant variable en fonction de la flexion du barreau d'époxy. Cet intermédiaire mécanique ramène au cas des matériaux piézoélectriques.

L'impédance interne des jauges de contrainte est faible, de quelques centaines d'ohms seulement, ce qui est un avantage énorme par rapport

aux céramiques piézo qui étaient sensibles aux parasites et mal adaptées aux circuits à transistors. D'autre part, la bande passante est très étendue.

Comme pour les modèles piézoélectriques, le signal est proportionnel au déplacement et non à la vitesse, ce qui oblige à réaliser une entrée spéciale pour ce type de cellule. Ajoutée à la nécessité d'une alimentation en courant continu, cette exigence a limité le succès des deux tentatives qui ont été faites pour introduire le nouveau type de lecteur sur le marché.

Les cellules phonocaptrices à condensateur. Avec ce type de phonocapteur, nous nous écartons encore un peu plus de la simplicité et des chemins battus. Ici, c'est le principe du condensateur à capacité variable qui est employé. Une des faces est placée sur la partie fixe, une autre sur le stylet. Lorsque la pointe de lecture se déplace, les deux armatures s'écartent, faisant varier la capacité du condensateur à air ainsi formé. Un courant haute-fréquence est appliqué sur les armatures et sert à mesurer la valeur instantanée de la capacité.

Les circuits électroniques à mettre en œuvre pour une telle opération sont évidemment assez complexes, d'autant plus que, en plus de la production de la haute-fréquence et de sa détection, des corrections de courbe de lecture sont nécessaires.

Néanmoins les résultats obtenus au plan de la masse dynamique, qui devient pratiquement celle du diamant seul, ainsi que de la compliance, portent cette cellule à un niveau de qualité rarement atteint.

Les cellules phonocaptrices à diodes. Les tentatives faites pour réaliser ce type de cellule ont abouti à la création d'une petite série, mais le produit est encore loin de se prêter à des réalisations industrielles comparables aux phonocapteurs magnétiques. On se sert ici d'un cache solidaire du stylet, qui vient masquer un faisceau lumineux détecté par des diodes photoconductrices.

Comme dans le cas précédent, l'équipage mobile peut être réduit à sa plus simple expression et la masse dynamique rendue extrêmement faible. Toutefois, la réalisation d'un lecteur linéaire, c'est-à-dire sans distorsion, est difficile et la sensibilité aux lumières parasites n'est pas à négliger. Toutes les sources de lumière artificielles sont plus ou moins modulées par le secteur et, à moins d'écouter ses disques dans l'obscurité, on risque d'entendre un ronflement à 50 Hz si la cellule n'est pas bien étanche à la lumière extérieure.

Il y a quelques années, un constructeur avait basé son offensive publicitaire sur la disparition prochaine et inéluctable de la cellule magnétique. Il semble qu'il se soit trompé. La cellule magnétique semble avoir acquis aujourd'hui ses lettres de noblesse et son avenir ne paraît pas encore menacé par des concurrents aux techniques prestigieuses.

Yves MARZIO



LES MAGNÉTOPHONES A BOBINES LIBRES

Les magnétophones à bobines vraiment adaptés aux besoins des amateurs de Hi-Fi ne sont pas très anciens. Dans la construction de ces appareils, divers systèmes coexistent, qui donnent en réalité des résultats identiques. C'est un point sur lequel l'attention de l'acquéreur en puissance doit être attirée.

● On peut dire en toute certitude que les magnétophones à bandes auront été sauvés deux fois par les magnétophones à cassettes. En 1963, c'est la formidable campagne lancée par Philips pour le lancement des mini K 7 qui attira l'attention du grand public sur les possibilités des magnétophones en général. Les constructeurs, qui envisageaient tous d'abandonner la partie, reprirent courage, mais, à notre avis, ne firent pas, sauf un ou deux, les efforts qu'il fallait pour mettre à la disposition des amateurs des appareils dignes d'entrer dans une chaîne haute-fidélité. En 1972, l'offensive des magnétocassettes réveilla l'énergie des constructeurs et tous étudièrent les modèles spéciaux que demandaient les amateurs.

Le magnétophone, tel que les premiers constructeurs l'avait conçu, était avant tout un appareil autonome facilement transportable,

doué d'honnêtes qualités de reproduction des enregistrements. Ces appareils manquaient en fait d'intérêt, car les amateurs, sauf les chasseurs de sons, se sont révélés incapables de réaliser des enregistrements musicaux de valeur. Pour cela, il faut des moyens importants. A savoir, des microphones de très haute qualité, une pièce spécialement traitée, et surtout des interprètes capables de jouer une œuvre musicale avec l'art d'un artiste renommé. Toutes conditions difficiles à remplir.

Le disque restait donc la source musicale idéale pour l'amateur. Mais il présente un défaut congénital : il s'use et il est très fragile. Les amateurs de haute-fidélité ont donc pensé à enregistrer sur bande les disques qu'ils achetaient pour leurs écoutes personnelles, ce qui n'est pas interdit par la loi. Les magnétocassettes répondent souvent aux conditions nécessaires en ce qui concerne la qualité de la reproduction. Mais bon nombre d'amateurs souhaitent encore mieux. Telle est l'origine du renouveau de l'industrie du magnétophone à bobines.

Le magnétophone à bobines moderne est en réalité une platine de magnétophone, ainsi nommée par analogie avec la platine tourne-disques. Tant pour l'enregistrement que pour la lecture, il doit en effet être raccordé à un amplificateur haute-fidélité.

Les platines magnétophone

Sur le panneau arrière de tous les amplificateurs haute-fidélité, on trouve des prises « sortant » le signal musical, destinées à être reliées aux entrées d'un magnétophone, et des prises destinées à recevoir le signal enregistré sur la bande magnétique. Sur le panneau avant, on trouve aussi un inverseur permettant d'écouter

pendant l'enregistrement non seulement le son direct mais le son enregistré sur la bande — avec quelques dixièmes de secondes de retard. Ceci nous définit déjà les fonctions du magnétophone haute-fidélité. Pour simplifier, nous parlerons en effet désormais de magnétophone et non de platine.

La nécessité de comparer le signal original et le signal enregistré conduit le constructeur à prévoir un circuit complet d'enregistrement et un circuit complet de lecture, absolument indépendants l'un de l'autre. Et comme on ne peut concevoir un magnétophone haute-fidélité autrement que stéréophonique, le constructeur doit prévoir deux circuits d'enregistrement et deux circuits de lecture.

Nous venons parler de circuits d'enregistrement et de circuits de lecture. En effet le signal issu de l'amplificateur haute-fidélité ne peut être enregistré que s'il a subi un traitement préalable ; quant au signal enregistré sur la bande, il ne peut être introduit dans les circuits de l'amplificateur que s'il a, lui aussi, subi un traitement. Ceci implique donc dans le magnétophone deux amplificateurs d'enregistrement, liés à deux têtes d'enregistrement placées pour des raisons mécaniques dans le même boîtier, et deux amplificateurs de lecture liés à deux têtes de lecture, placées ensemble dans un deuxième boîtier. Chacun de ces boîtiers forme une tête magnétique stéréophonique.

Lorsque la bande défile, elle rencontre d'abord la tête d'enregistrement, puis la tête de lecture. L'écart entre les deux têtes est la cause du décalage dont nous faisons état tout à l'heure entre l'écoute de la bande enregistrée et le son original.

En réalité, un tel magnétophone est « à trois têtes ». Dans son trajet, la bande rencontrera d'abord la tête d'effacement qui n'est là que pour éviter les superpositions d'enregistrements sur la bande. Il est en effet très rare qu'on utilise des bandes vierges, et c'est pourquoi tous les magnétophones sont équipés par sécurité d'une tête d'effacement ⁽¹⁾.

Les mécanismes des platines

On trouve deux écoles : les platines monomoteur et les platines à trois moteurs. En ce qui concerne les résultats en matière de défilement de la bande, tant en enregistrement qu'en lecture, on obtient des résultats identiques dans les deux cas. Nous tenons à préciser ce point, quelles que soient les affirmations fréquentes des revendeurs.

Les résultats diffèrent par contre largement pour les fonctions de rembobinage quel qu'en soit le sens. Les platines monomoteur bobinent ou rembobinent la bande avec une lenteur désespérante ; les platines à trois moteurs permettent

(1) Les caméras sonores ne comportent pas de tête d'effacement puisqu'on est sûr que lors de l'enregistrement du son, la piste magnétique sera aussi vierge que l'émulsion photographique.



Revox 77 : une platine magnétophone de grande classe. Enregistrement deux ou quatre pistes.



Akai 4000 DS : platine 9,5/19 cm/s ; quatre pistes ; à incorporer dans une chaîne Hi-Fi.



Philips 4450 : base d'une bonne chaîne Hi-Fi. Il faut seulement lui ajouter les enceintes.

des opérations très rapides. Mais ici intervient une question de prix. Une platine à trois moteurs coûte environ deux fois plus cher qu'une platine monomoteur. C'est à l'amateur de savoir s'il a vraiment besoin de rembobinages rapides.

En plus du ou des moteurs, un magnétophone comporte divers mécanismes : freins, galet presseur, tendeur, etc. La commande de ces mécanismes peut être réalisée soit par des électroaimants, soit au moyen de tringleries. Bien que, dans les magnétophones bon marché, les constructeurs utilisent des tringleries, nous restons persuadés que les commandes à électroaimants reviennent en définitive moins cher. Et c'est cependant sur les magnétophones les plus onéreux qu'on les trouve.

Un avantage des commandes par électroaimants est que les touches de commande sont très souples. Etablir un contact ne demande en effet aucun effort. Il n'en est pas de même avec un système de tringlerie. La souplesse des commandes par électroaimants entraîne toutefois des fausses manœuvres et les constructeurs ont dû prévoir des circuits électroniques, dits logiques, capables d'exécuter les fonctions intermédiaires pour éviter les catastrophes. Prenons un exemple concret. L'appareil étant en bobinage avant rapide, on appuie par inadvertance sur la touche commandant le bobinage arrière rapide. Le circuit logique intervient alors et rétablit l'ordre des opérations. Il commandera d'abord l'arrêt de l'appareil puis, lorsque la bande sera arrêtée, le bobinage rapide arrière. Les circuits logiques sont évidemment une cause d'augmentation du prix de l'appareil.

Le système d'entraînement de la bande

C'est la partie la plus délicate du mécanisme d'un magnétophone. La bande est entraînée par le cabestan parce qu'elle est collée contre lui par un galet presseur. Il existe aussi deux écoles pour donner le mouvement au cabestan. Certains constructeurs utilisent des moteurs spéciaux et montent le cabestan sur l'axe même du moteur. D'autres montent le cabestan sur l'axe d'un volant lourd qui reçoit le mouvement d'un moteur par l'intermédiaire d'une courroie ou d'un galet. Toutes les solutions sont valables et nous pouvons dire que les résultats obtenus sont pratiquement identiques. Chacun pourra le constater en lisant, dans les spécifications des constructeurs, le chapitre concernant les taux de pleurage et de scintillement.

Dans presque tous les magnétophones haute-fidélité, la bande défile à plusieurs vitesses. Les « grands amateurs », dont les enregistrements sont de classe professionnelle, utilisent les vitesses 19 et 38 cm/s. Mais, en général, l'amateur utilise les vitesses 9,5 et 19 cm/s.

Bien que, depuis l'apparition des magnétocassettes, ils n'aient plus aucun intérêt, on rencontre encore des magnétophones Hi-Fi avec



Saba 674 : platine 9,5/19 cm/s, incorporable dans une chaîne.

des vitesses de 4,75 et 2,4 cm/s. Les vitesses de 9,5 et 19 cm/s sont néanmoins toujours conservées.

Il y a dix ans, on n'employait sur les magnétophones que des moteurs à quatre ou huit pôles fonctionnant directement sur le secteur. Mais la technique a beaucoup évolué. Aujourd'hui, de multiples types de moteurs sont utilisés pour l'entraînement du cabestan ou pour les moteurs de rembobinage, conjointement avec des moteurs traditionnels.

Certains constructeurs utilisent des moteurs à effet Hall, d'autres des moteurs continus asservis, d'autres des moteurs alternatifs à servo-contrôle.

On peut en fait faire confiance à n'importe quel système. Tous donnent des résultats identiques ou tellement proches les uns des autres qu'il est impossible de prendre position pour un système plutôt que pour un autre.

Le nombre de pistes

Il existe des magnétophones à deux pistes et des magnétophones à quatre pistes. Ces derniers donnent des résultats très satisfaisants et peuvent suffire dans presque toutes les circonstances pour l'amateur de haute-fidélité. Cependant, on ne peut pas dire que le classement des bandes enregistrées soit simplifié lorsque les bandes portent des enregistrements dit « 1/4 piste ». Dans ce cas, les pistes sont entrelacées. Comme les résultats sont satisfaisants du point de vue technique, rien d'étonnant à ce que les constructeurs aient porté leurs efforts sur les modèles à quatre pistes. On en trouve un grand nombre sur le marché.

Le contrôle de l'enregistrement

Nous avons vu que le contrôle fin de l'enregistrement se fait par l'écoute de la bande enregist-



La magie du magnétophone suscite un intérêt toujours soutenu. Mais la réalisation d'enregistrements originaux

trée ; mais un réglage préalable et un contrôle permanent doivent être assurés au moyen de vu-mètres. On appelle ainsi des galvanomètres qui indiquent le niveau du signal d'enregistrement. Lors de l'achat d'un appareil, il faudra bien regarder comment fonctionnent ces vu-mètres. Certains constructeurs les laissent raccordés en permanence sur les amplificateurs d'enregistrement, d'autres au contraire les raccordent, suivant l'écoute réalisée (source ou bande), tantôt sur l'amplificateur d'enregistrement tantôt sur l'amplificateur de lecture. Seules des expériences personnelles permettent de savoir si on préfère une formule à l'autre.

Pour contrôler le volume d'enregistrement, on trouve des potentiomètres sur chaque voie ; mais comme il y a généralement deux entrées par voie, une pour le son issu de l'amplificateur, l'autre pour le son issu d'un microphone (qui, lui, ne passe pas par l'amplificateur), il y a un potentiomètre supplémentaire par voie pour le micro. On retrouve ici la vocation première d'un magnétophone, illustrée par les modèles anciens : les enregistrements directs.

Les constructeurs ont donc tendance à placer

un premier potentiomètre de contrôle d'enregistrement dans la ligne venant de l'amplificateur et un deuxième dans la ligne microphone. On peut ainsi faire des mixages, bien utiles pour ceux qui sonorisent leurs films ou leurs diapositives. Le niveau de lecture peut être fixe ou contrôlable. Dans ce dernier cas, on trouve deux potentiomètres de plus sur l'appareil. Nous avons dit que les enregistrements à partir de microphones étaient difficiles à réaliser. Ils sont néanmoins possibles et il a fallu prévoir le contrôle auditif de l'enregistrement. Pour des raisons techniques (réaction haut-parleurs-micro ou effet Larsen), il est impossible de faire l'écoute sur le haut-parleur. On trouve donc sur tous les appareils une prise permettant le branchement d'un casque stéréophonique.

D'autres possibilités

Certains magnétophones permettent des enregistrements simultanés sur les quatre pistes. Ce sont certainement les appareils les plus aptes à faire de la quadraphonie, car la séparation des canaux est totale et le son, n'ayant subi aucun



dignes d'une chaîne Hi-Fi est un exploit hors de portée.

codage ou décodage, est plus pur que celui obtenu avec les disques. Il n'existe malheureusement pratiquement pas de bandes préenregistrées.

Il existe sur beaucoup de magnétophones un certain nombre de possibilités accessoires. On ne peut toujours parler de gadgets, car beaucoup ont un réel intérêt.

Parlons d'abord des truquages. Par report d'une piste sur l'autre avec addition d'un nouveau signal lors de l'enregistrement, on peut jouer tout seul en duo. Le nombre de reports peut aller jusqu'à cinq ou six avant que le premier signal ne se dégrade. Il existe en ce domaine différents systèmes dont il serait trop long de parler en détail, baptisés duoplay ou multiplay dans le jargon des « hifistes ».

Certains appareils sont équipés de minuteries permettant des enregistrements en l'absence de l'amateur.

Certains constructeurs considèrent que le magnétophone peut servir de base à une chaîne haute-fidélité. L'adjonction d'un tourne-disques et de deux enceintes font par exemple du Philips 4 450 une véritable chaîne de classe.

Avec ce genre d'appareil, il faut toutefois être assez prudent et bien lire la notice du constructeur. Ainsi, SABA fabrique un excellent magnétophone avec amplificateur de 2×7 watts incorporé, mais il est dit que si une partie de l'appareil correspond à la platine de magnétophone dans la définition que nous en avons donnée au début de cet article, la deuxième partie, celle de l'amplificateur basse-fréquence, n'est pas de la même classe. Autrement dit, si on peut raccorder la platine de magnétophone à une chaîne haute-fidélité de bonne facture, l'amplificateur incorporé ne peut être considéré que comme un amplificateur de contrôle. Il ne comporte pas, par exemple, de préampli pour cellule phonocaprice magnétique.

Les dimensions des bobines

La durée de l'enregistrement est conditionnée par l'épaisseur de la bande (donc sa longueur sur une bobine donnée), le diamètre de la bobine et la vitesse de défilement.

Tous les magnétophones modernes sont prévus pour des bobines de 180 ou 260 mm. Si l'on choisit un modèle avec bobines de 260 mm, on pourra obtenir quatre heures d'enregistrement ininterrompu avec de la bande double durée à 9,5 cm/s. Avec la même bande et la même vitesse, les bobines de 180 mm ne donneront que deux heures d'enregistrement, ce qui est généralement suffisant.

A l'heure du choix, il faut avoir en tête que les bobines de 260 mm sont difficiles à stocker, tandis qu'il existe pour les bobines de 180 mm des coffrets très astucieux facilement logeables dans une bibliothèque murale.



Les amateurs trouveront sur le marché des magnétophones à bande donnant des performances bien supérieures à celles des magnétocassettes à des prix variant de 1 100 F à 6 000 F, prix correspondant exactement à ceux des magnétocassettes.

Sur le plan volume, les magnétophones à bobines sont plus encombrants, et les manipulations semblent plus complexes que dans les magnétocassettes. En fait, les réglages sont aussi délicats dans les deux cas. Quant au coût de l'exploitation, il est favorable aux magnétocassettes.

Dans un bilan général, les choses s'équilibrent pour le magnétophone puisque, d'un côté, la qualité de l'enregistrement est meilleure et que, de l'autre, la manipulation et le prix de l'exploitation sont supérieurs. Mais il faut penser à une chose lors d'un achat : que la bande est, dans tous les cas, ce qu'il y a de moins cher dans le magnétophone. Le parc moyen des Français est d'environ deux bandes par enregistreur en service.

Charles OLIVERES



LA TÉTRAPHO

La confusion des différents systèmes actuellement proposés n'a sûrement pas favorisé le développement de la tétraphonie. Et le manque d'informations claires de la part des constructeurs et des services commerciaux n'a pu que jouer dans le même sens. Tout ceci est fâcheux, car la tétraphonie est mieux qu'un gadget coûteux et encombrant. Elle est vraiment susceptible d'apporter de nouvelles joies à l'amatteur de haute-fidélité.

NIE N'EST PAS UN GADGET

● Les publicités étrangères ont rendu familier les noms de quadraphonie ou de quadrophonie ; nous pensons qu'il est préférable d'utiliser le mot **tétraphonie** dont les composants sont tous issus du grec, plutôt que de mélanger les origines.

Aujourd'hui, tout le monde fait de la monophonie sans le savoir. En effet, tous les récepteurs radio portables et les téléviseurs diffusent leurs programmes en monophonie. C'est-à-dire que le son vient d'un point bien précis de l'espace, qui est le haut-parleur de l'appareil. On comprend fort bien que lorsqu'il s'agit d'un speaker donnant des informations, tout va bien quant à la répartition dans l'espace, mais dès qu'il s'agit d'une formation orchestrale, la zone de diffusion est très réduite.

La stéréophonie a apporté une amélioration importante. Les deux sources de signal convenablement enregistrées puis reproduites donnent à l'auditeur la sensation d'un plan sonore disposé entre les deux haut-parleurs ; et si l'acoustique de la pièce est convenable, on peut même ressentir une certaine profondeur.

Malgré tout, il manque encore quelque chose, car à la prise de son dans la salle de concert, le son réverbéré par les parois (ce qui donne la « couleur » de la salle) a été ramené par la stéréophonie dans le plan d'écoute situé à l'avant de l'auditeur, ce qui n'est évidemment pas conforme à la réalité. D'autant que le temps de réverbération d'un auditorium de bonne qualité est relativement court et celui d'une salle de concert bien plus long. Même si l'on dispose du signal réverbéré, le fait de le placer à l'avant change fortement ce que l'on peut entendre au concert.

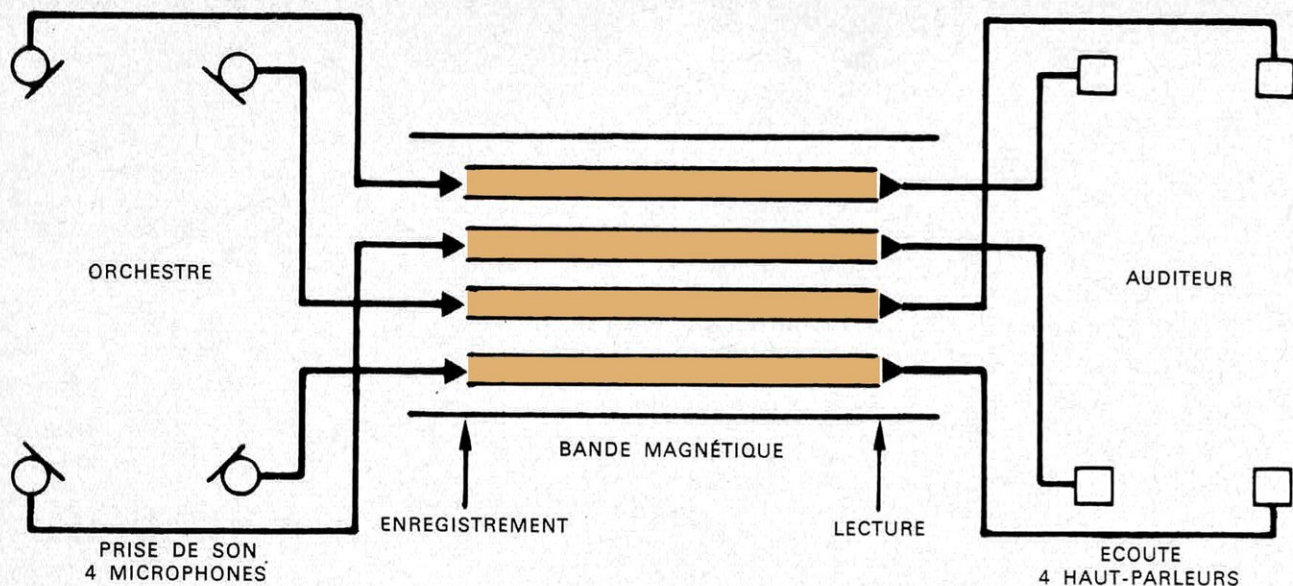
Nous ne rediscuterons pas les pourcentages de signal réverbérés par les parois et les plafonds des salles de concert. Ils sont très variables selon la disposition des salles (ce qui fait que chacune a sa couleur), jusqu'à devenir inexistant dans le cas d'une prise de son en studio.

On pressent que si l'on peut apporter à l'auditeur une ou plusieurs informations supplémentaires par les côtés ou à l'arrière, on améliorera fortement la sensation de rapprochement avec l'original. Mais attention ! la perception du signal arrière (à moins d'effet spécial) ne devra jamais être prédominante. Sa suppression devra par contre être ressentie avec précision par l'auditeur habitué. L'expérience est très caractéristique : l'auditoire écoute un programme en stéréophonie, s'y habitue, puis l'opérateur étend l'audition et passe en tétraphonie ; peu d'auditeurs s'en rendent compte, tout au plus ils ressentent un léger changement d'ambiance mais sans plus. Comme précédemment, il faut laisser les oreilles et le cerveau s'habituer. Alors on revient en stéréophonie, et l'auditeur le moins averti s'aperçoit qu'il y a quelque chose de changé, qu'on lui a retiré quelque chose. La musique lui paraît plate et fade.

Reproduction et enregistrement tétraphoniques

Comment véhicule-t-on ce « quelque chose » de plus qu'apporte la tétraphonie ?

● **La bande magnétique.** Il est évident que le procédé le plus simple, tant à l'enregistrement qu'à la reproduction, est le magnétophone. Il



suffit d'enregistrer, puis de lire les quatre informations contenues sur les bandes.

On voit tout de suite qu'il n'y a aucun problème technique important puisque, partant de quatre signaux, on en enregistre, puis conserve quatre, et que l'on en reproduit quatre. C'est de façon parfaite le système 4 - 4 - 4. De tels programmes existent, les magnétophones (qualité grand public) existent, mais ils se heurtent à un problème de prix. Car là où l'on mettait auparavant deux programmes stéréophoniques, on ne met plus maintenant qu'un programme tétraphonique. De plus, avouons-le, et surtout en France, la diffusion et l'utilisation des bandes pré-enregistrées sont peu répandues.

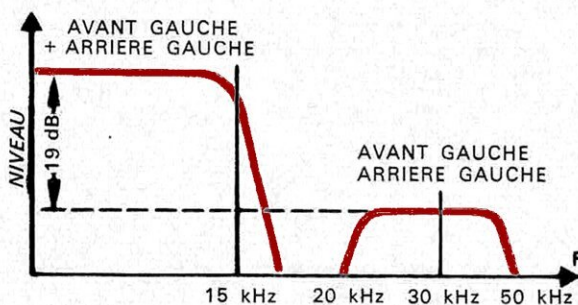
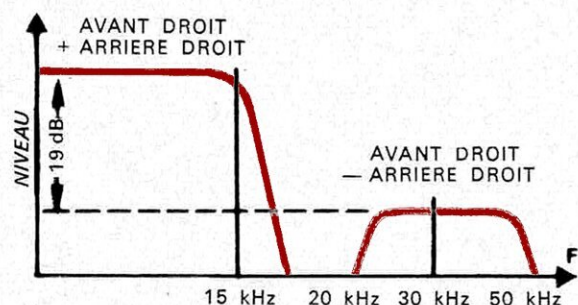
Tous les amplificateurs tétraphoniques (c'est-à-dire entre autres à quatre amplificateurs indépendants) ont une entrée permettant de lire le signal provenant de tels magnétophones.

● **Le disque.** C'est vers le disque que les efforts se sont surtout portés pour parvenir à stocker sur deux sillons les quatre informations nécessaires.

Les différents procédés que nous allons décrire ont résolu par des méthodes différentes le délicat problème du codage, puis de l'enregistrement ; ceux, enfin, de la lecture et du décodage des signaux.

Lorsque l'on conserve les quatre signaux séparés tout au long de la chaîne, il est commode de dire que c'est un système 4 - 4 - 4. Lorsque, au niveau du disque, on code de façon à ne conserver que deux signaux, on dit qu'il s'agit d'un système 4 - 2 - 4. Enfin, il est possible que, partant du signal stéréophonique, on extraie quelque chose de façon à disposer de quatre informations à la lecture ; on réalise alors un système 2 - 2 - 4. Ces appellations commencent à être assez couramment utilisées et elles sont plus « parlantes » que tous les vocables utilisés jusqu'à maintenant.

4 - 4 - 4 : Le système CD4 développé par la Japan Victor Company (JVC) enregistre sur le disque les signaux suivants :



On voit tout de suite que l'on doit enregistrer sur le sillon des fréquences allant jusqu'à 45 kHz. JVC a résolu le problème en utilisant des techniques nouvelles à l'enregistrement : gravure à vitesse basse, burin graveur de forme spéciale et différents traitements électroniques du signal. Si le signal somme des deux signaux, plus important en niveau, est gravé directement, il est nécessaire, pour graver le signal différence, de moduler une porteuse à 30 kHz car il faudra ensuite séparer entre elles toutes ces informations.

À la lecture, si l'on utilise une tête traditionnelle dont la bande passante est limitée au mieux à 20 kHz, on s'aperçoit que l'on pourra bien lire les signaux « somme » (très utiles car le disque est ainsi lisible en stéréophonie), mais les signaux différence ne seront pas lus. JVC a développé des pointes et des têtes de lecture capables de lire des signaux enregistrés jusqu'à 50 kHz.

La pointe de lecture a un profil dit Shibata qui permet, par une augmentation de la surface de contact, de mieux « suivre » le signal.

Le signal initial est donc introduit dans un décodeur. On sépare le signal haute-fréquence modulé et un discriminateur permet d'extraire le signal différence. On dispose donc de :

Avant gauche + Arrière gauche
et

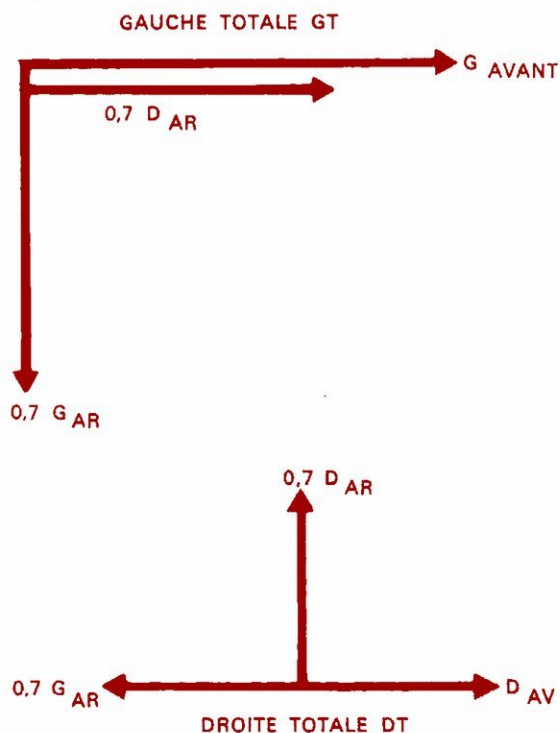
Avant gauche — Arrière gauche

En les additionnant, on retrouve Avant gauche et en les soustrayant on retrouve Arrière gauche ; même opération pour le canal de droite.

Signalons au passage que l'extraction de la porteuse à 30 kHz n'est pas simple ; étant à faible niveau, elle est mélangée à beaucoup de signaux indésirables (bruit et scintillement apportés par la matière du disque et par le tourne-disques). Cette porteuse est repérée par sa phase et de cette façon mieux accrochée.

Après décodage, on récupère bien quatre signaux bien séparés et conformes à ce qui fut enregistré. Ceci, au prix d'une tête de lecture spéciale (qui peut bien sûr lire les disques conventionnels) et d'un décodeur qui, grâce aux circuits intégrés, est maintenant peu encombrant.

4 - 2 - 4 : Dans le système SQ développé aux Etats-Unis par la Columbia Broadcasting, les quatre signaux issus de la prise de son sont codés comme suit :



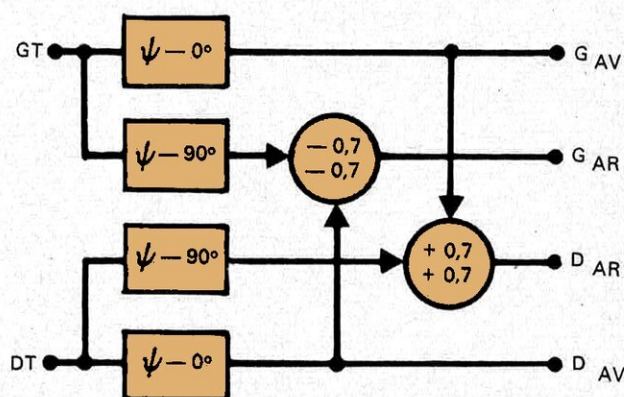
On dispose donc de deux signaux, où les informations différentes sont repérées en phase et en amplitude.

Pour graver le disque, CBS utilise un procédé de modulation dit « hélicoïdal ». Selon que le décalage est de + ou de -90° , le cercle décrit par le burin sera dans un sens ou dans le sens inverse. Les deux cercles décrits en sens inverse

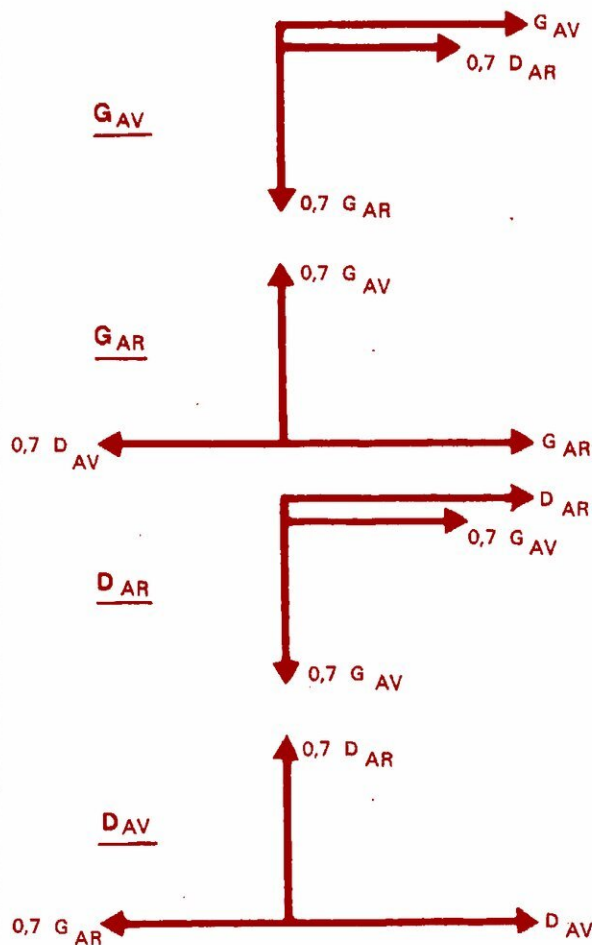
par la pointe et combinés au déplacement longitudinal du sillon forment deux hélices, d'où le nom donné à ce système.

A la lecture, le même signal sera dirigé vers le décodeur, cette fois sans problème de lecture, car il inscrit dans la même bande passante que les enregistrements normaux.

Le synoptique du décodeur est le suivant :



Et les signaux extraits ont la composition :



Il s'agit ici, tant au codage qu'au décodage, de représentations vectorielles où l'hypothèse suivante est posée que les quatre signaux sont égaux en amplitude et en phase, ceci afin de comprendre le procédé.

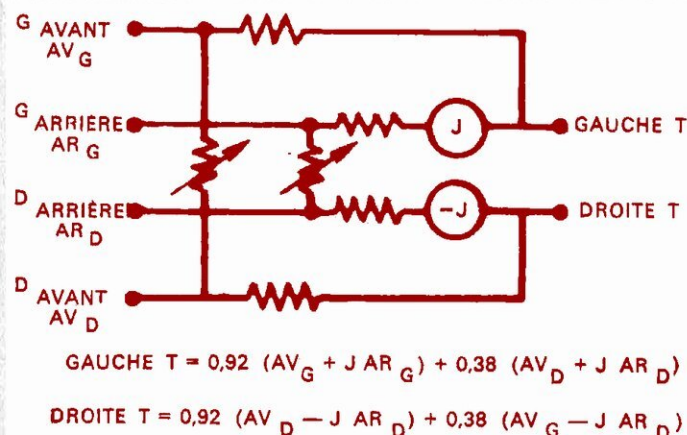
Les réseaux ψ sont des filtres passe-tout sans action sur la fréquence, mais qui déphasent les signaux qui les traversent de 90° .

On note à la sortie un certain mélange des signaux entre eux, mais jamais un signal Avant n'est « pollué » par un autre signal Avant ; de même pour l'arrière. Malgré tout, la séparation est faible, et l'on fait appel à des circuits dits logiques ou semi-logiques qui vont l'améliorer. Ces circuits détectent les prédominances dans les différents canaux et règlent automatiquement le gain des préamplificateurs de façon à accentuer la séparation.

A titre d'exemple, entre un décodeur sans logique et un autre équipé de la logique la plus évoluée, la séparation avant-arrière passe de 6 à 18 dB.

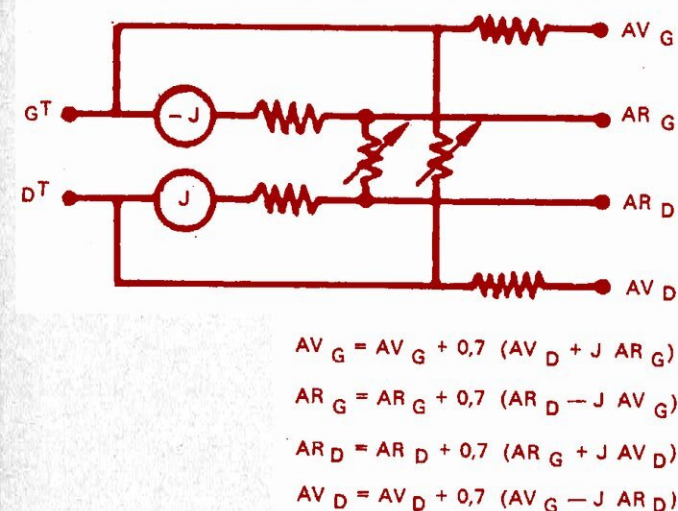
Le système QS a été développé au Japon par la firme Sansui et homologué dans ce pays comme système national sous le vocable RM (regular matrix). Le codage, tout en étant basé sur des relations de phase et d'amplitude des signaux, est différent du SQ.

Les schémas synoptiques sont les suivants :



On voit ainsi le mélange effectué afin de rendre possible la gravure de deux informations dans les deux flancs du sillon.

Ensuite on procède au décodage :

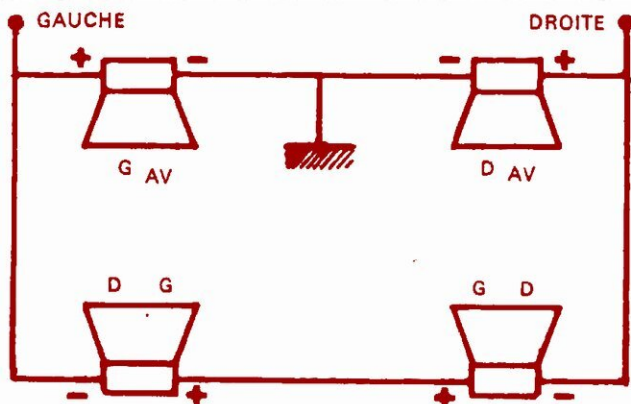


Le dispositif Vario Matrix, placé après le décodeur QS, permet, grâce à un contrôle de la phase du signal composite, d'améliorer la séparation des canaux. Son rôle est similaire à la logique du décodeur SQ, mais les principes appliqués sont différents.

Le QS synthétiser est un procédé original de Sansui, qui permet de produire, à partir d'un disque stéréophonique des informations pour les voies arrière. C'est un procédé 2 - 2 - 4.

2 - 2 - 4 : Bien que n'étant pas tétraphoniques, ces procédés, répandus sur les matériels populaires, méritent une explication. Ils sont souvent baptisés de noms prestigieux tels qu'Ambiophonie, Quadrosound, Ambiosound, etc.

Tous reconstituent pour les voies arrière un signal qui n'existe pas à la prise de son originale du disque stéréophonique. On part du principe que, lorsque l'on met en opposition de phase les deux canaux stéréo, on récupère évidemment ce qui n'est pas en phase, donc a priori des signaux réfléchis ayant mis un temps plus long à parvenir au microphone. On va donc alimenter les haut-parleurs arrière par les signaux en opposition de phase :



Ce schéma a donné lieu à de nombreuses variantes, tendant à modifier l'amplitude de l'arrière, peu efficace car le niveau est toujours faible, et pour essayer de jouer un peu sur les relations de phase des signaux arrière pour changer la « couleur » du signal.

Un des avantages du système est sa simplicité, car il se passe généralement d'amplificateurs de voies arrière et ne nécessite que deux enceintes supplémentaires. Mais l'inconvénient est que, quel que soit l'enregistrement, la « couleur » de la salle reste la même.

Nous ne souhaitons pas intervenir ici dans la bataille qui oppose les différents procédés. Certains, comme le SQ et le QS, sont simples à mettre en œuvre, mais en revanche mélangent un peu les signaux. Le CD 4 est plus complexe à mettre en œuvre (tête spéciale, fréquences inhabituelles) mais le résultat donne une meilleure séparation. Toutefois, le CD 4 n'a pas encore reçu de solution officielle en radiodiffusion, alors que le SQ et le SQ, par le passage à deux canaux, sont diffusés sans problème. Il en passe



souvent sur France-Musique. La controverse ne semble pas avoir de fin et c'est l'usager qui, perdu dans les normes et publicités, risque de se détourner de cette tétraphonie qui devrait lui apporter des satisfactions supplémentaires.

Le jeu vaut pourtant la chandelle. Il est très agréable, lors de l'écoute d'un disque tétraphonique (quel que soit le procédé) de se sentir dans la salle de concert sans chercher à localiser les sources. Certainement, des compositeurs seront attirés par le procédé et écriront des musiques spéciales pour la tétraphonie ; à notre connaissance seul Berlioz l'avait « prévue » et son Requiem en est la preuve.

Quoi qu'il en soit, il faut se faire une raison. Les trois systèmes existent et coexisteront sûrement un certain temps. Il faut ainsi pouvoir décoder les trois procédés. Ce qui nous conduit à examiner comment se présente l'amplificateur.

Les préampli-ampli tétraphoniques

Généralement de volume équivalent aux amplificateurs stéréo, leurs principales fonctions sont également identiques.

● Les entrées

Entrée PU magnétique : En principe assez sensible (2 mV est un bon chiffre), avec possibilité de changer l'impédance d'entrée (entre 47 k Ω et 100 k Ω). Ceci surtout afin de faciliter le branchement des lecteurs tétraphoniques CD 4 à large bande passante.

Il est bon de savoir également qu'il sera toujours utile de disposer, entre le lecteur CD 4 et l'entrée du préamplificateur, d'un câble d'excellente qualité sous peine d'être dans l'impossibilité de décoder le signal. Il convient aussi de bien lire les notices d'utilisation et les spécifications des constructeurs du lecteur et de l'amplificateur.

On trouvera sur les modèles équipés du décodeur CD 4 deux réglages permettant d'adapter l'entrée du préamplificateur et du décodeur au lecteur. Ces réglages sont à faire lors de la première mise en service, à l'aide d'un enregistrement spécial livré avec l'appareil. Des instructions pour régler les potentiomètres accompagnent le disque. On trouve souvent aussi sur l'enregistrement des signaux permettant d'identifier les canaux et de vérifier si les niveaux sont équilibrés. Il est bon de vérifier périodiquement

à l'aide du disque le bon fonctionnement du décodeur.

Les décodeurs SQ et QS n'ont pas besoin de ce réglage.

Entrée tuner. Entrée stéréo traditionnelle ; le décodage éventuel se fait après.

Entrée magnétophone. Ici, on trouve un branchement tétraphonique, c'est-à-dire que l'on peut « sortir » du préamplificateur les quatre canaux décodés ou « rentrer » les quatre canaux d'un magnétophone ou d'un décodeur extérieur.

Certains modèles permettent également de « sortir » les signaux codés SQ ou QS à un niveau suffisant pour être enregistrés sur un magnétophone. L'encombrement de la bande est évidemment moins grand que si on enregistrerait les quatre informations et cela permet d'utiliser un magnétophone stéréophonique pour

stocker les programmes tétraphoniques. Il n'est pas possible, pour des raisons de bande passante surtout, d'enregistrer des signaux CD 4 non décodés sur un magnétophone stéréophonique ordinaire.

Toutes les possibilités de monitoring doivent évidemment être possibles sur les quatre canaux.

Avant de parler des décodeurs il est bon de savoir que nous parlons ici de matériels ayant tous les décodeurs intégrés. Ceci est la solution la plus satisfaisante, mais aussi la plus complexe.

D'autres solutions existent :

1) L'amplificateur a toutes les possibilités d'un ampli tétraphonique, mais les décodeurs sont prévus soit extérieurement soit enfichables. C'est une solution qui peut être intéressante, car, avec l'évolution rapide des différents systèmes, il permet de pouvoir éventuellement s'équiper du der-

UNE «FET» POUR LES MÉLOMANES ?

Un nouveau type de transistor fait depuis peu de temps parler de lui. Il s'agit du VFET (transistor à effet de champ à structure verticale en Français). Sous une structure solide, on retrouve finalement, spécialement dimensionnée pour des applications en puissance, une bonne vieille triode.

Les VFET sont doués de performances qui, peut être, vont enfin réconcilier les deux clans qui séparent les amateurs de haute-fidélité : les « lampistes » et les « transistorisés ».

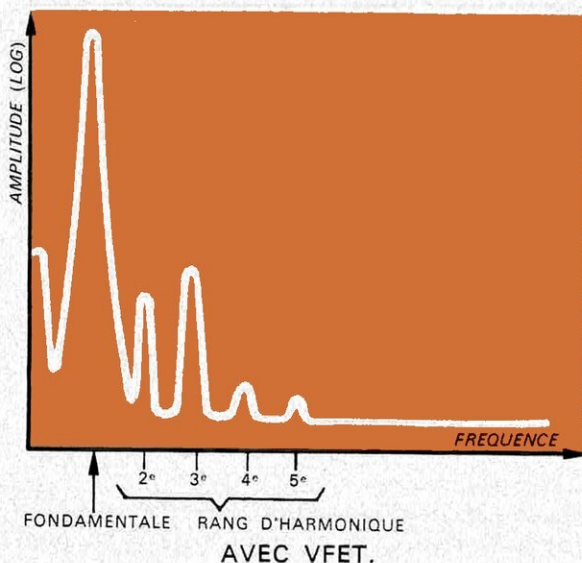
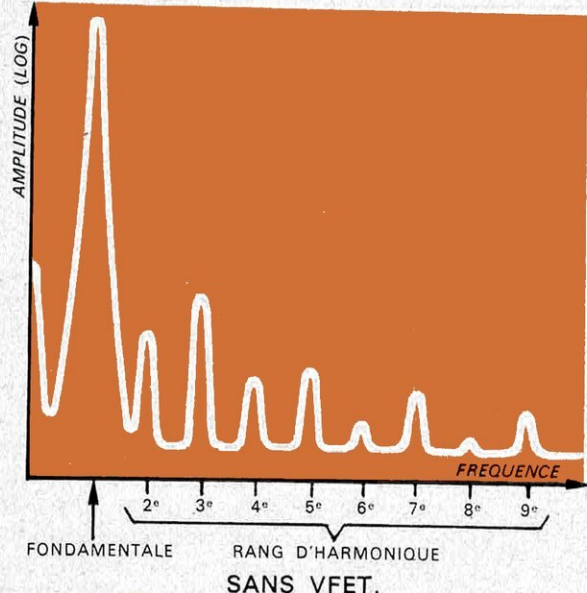
Un des principaux reproches fait aux transistors de puissance traditionnels est la génération de distorsions harmoniques de rang impair, pour laquelle l'oreille est plus sensible ; avec le VFET c'est l'inverse, ce sont les harmoniques pairs qui ont le plus fort niveau. Examinons sur des photographies prises sur un analyseur, deux spectres : le premier (à gauche) montre l'amplitude de la fondamentale puis l'amplitude des différentes harmoniques ; le deuxième provient d'un amplificateur utilisant des FET de puissance ; on voit qu'à partir de la 3^e harmonique, le niveau devient négligeable.

Il est bon de noter que pour rendre plus visible la différence entre les deux montages, les amplificateurs sont examinés sans contre-réaction. Ainsi, lorsque celle-ci sera rétablie, la distorsion pourra être faible dans le premier cas et tout à fait négligeable dans le second.

Ce problème des distorsions est vraiment le détail qui oppose les tenants des tubes et des transistors. Mais d'autres performances des FET sont également très intéressantes : leur temps de commutation très faible, d'où une excellente réponse aux transitoires ; leur résistance interne très faible, d'où un meilleur amortissement des enceintes.

Les initiés saisiront facilement que les avantages de cette technique vont dans le sens d'une meilleure reproduction, plus claire, plus nette, plus aérée.

Les amplificateurs commercialisés avec ces transistors (Yamaha et Sony principalement) sont actuellement plus chers d'environ 15 à 20 % que les amplificateurs traditionnels. Mais gageons que le développement de ce nouveau procédé amènera rapidement le prix du watt au même niveau que pour les autres.



nier en date des décodeurs. Mais elle suppose évidemment un encombrement plus grand, des manipulations plus fréquentes ou des câbles de liaison pas toujours faciles à cacher.

2) L'amplificateur, pour des raisons de prix de revient, n'a que les décodeurs matriciels SQ et QS, car ce sont les plus simples et ils ne nécessitent pas de lecteur spécial. Mais il est toujours possible, sur ces matériels, de brancher un décodeur CD 4 extérieur.

● **Les décodeurs.** Lorsque les décodeurs sont à l'intérieur de l'amplificateur, peu de problèmes. Il faut surtout penser à bien utiliser le décodeur correspondant à l'enregistrement. Si, sur l'ampli, les sigles des systèmes sont facilement repérables : SQ, QS (RM) et CD 4, il est souvent moins facile de trouver le sigle sur le disque ou sa pochette.

Sur certains modèles, le passage du décodeur SQ ou QS au décodeur CD4 se fait automatiquement et un voyant s'allume pour signaler le fonctionnement CD 4, mais il faut choisir manuellement entre SQ et QS.

Les autres positions sont, bien sûr, stéréo, et parfois mono ; on profite de la présence des quatre ampli pour ajouter des positions permettant d'alimenter les quatre haut-parleurs par des signaux stéréophoniques. C'est le 2-2-4 dont nous avons parlé plus haut. Là, pas de normes ; tout est possible. Les voies arrière sont alimentées par des signaux extraits du message stéréophonique, avec parfois l'introduction de retards pour modifier l'effet (à utiliser avec beaucoup de circonspection). Les résultats sont souvent loin de la prise de son originale. Mais reconnaissons que lorsque l'habitude de l'écoute à quatre canaux est prise, il est assez difficile de revenir à deux.

● **Volume et balance.** C'est là un point important dans les amplificateurs tétraphoniques. Toute la commodité et la souplesse d'emploi dépendent de la conception de ce groupe de commandes. Une combinaison est à proscrire d'emblée : celle à quatre potentiomètres séparés. Elle est certainement la plus simple, mais ne peut guère être mise en œuvre correctement.

Il faudra donc un potentiomètre réglant le gain des quatre amplificateurs, accompagné de réglages de balance des canaux entre eux. Ces balances peuvent être de groupement divers : avant-arrière, gauche-droite...

Une bonne combinaison est, par exemple :

- une première balance qui règle le niveau entre l'avant et l'arrière et qui est indispensable ;
- une deuxième qui règle l'équilibre à l'avant entre gauche et droite ;
- une troisième pour l'équilibre à l'arrière entre gauche et droite.

Pas d'affolement ! Avec un peu d'habitude et un disque conçu pour le réglage, tout cela est assez facile. Ce qu'il faut surtout éviter, c'est de dérégler les balances pendant l'audition d'un disque inconnu.

Pour tous les réglages, on appréciera la commande à distance. Il est évidemment plus simple

de se placer exactement à égale distance des quatre haut-parleurs pour régler l'équilibre que de le faire par à coups, si l'ampli est placé n'importe où. Le fin du fin est la commande en « manche à balai », qui permet de centrer avec beaucoup de précision la zone d'écoute.

● **Filtres et tonalités.** L'action se fera en général sur les quatre canaux simultanément. C'est la solution la plus commode. Parfois, les tonalités sont séparées avant/arrière, ce qui peut être utile dans le cas où les enceintes sont très différentes.

● **Puissance.** Un dispositif intéressant est souvent disponible sur les amplificateurs tétraphoniques. Il permet de doubler la puissance de l'amplificateur lorsqu'il est utilisé en stéréophonie seulement. Les quatre amplificateurs sont utilisés deux par deux, en pont. L'appellation anglo-saxonne de ce dispositif est *bridging*.

La puissance normale d'un ampli tétraphonique peut commencer à 10 watts ; lorsque les quatre canaux fonctionnent, on dispose de 40 watts répartis dans la pièce, ce qui est fort convenable ; la mise en pont permet de disposer éventuellement de 2×20 watts en stéréo. Bien sûr, des amplificateurs plus puissants sont disponibles : tout est question de budget et un bon 4×50 watts sera plus souple à utiliser ; mais attention aux voisins si vous avez la main lourde sur le potentiomètre de volume !...

● **Casque.** Un branchement de casque tétraphonique est toujours possible et bien qu'étant assez volumineux, son écoute est agréable. Il permettra peut-être de régler le problème ardu du logement de quatre enceintes dans une pièce pas forcément immense.

Assez souvent, est inclus un tuner au préampli-ampli tétraphonique. Ce tuner n'a pas besoin pour l'instant de spécification particulière pour retransmettre les programmes stéréophoniques. Lorsque le signal stéréo est codé, il est transmis et décodé sans difficultés. Le seul inconvénient est que l'annonceur de la station dit rarement si le disque qui passe est SQ ou QS. Une lacune qui, espérons-le, sera comblée un jour. Mais gageons qu'il n'est pas du tout impossible de voir deux émetteurs voisins choisir des systèmes différents !

**

Pour terminer ce tour d'horizon sur la tétraphonie, que nous réserve l'avenir ?

Nous pensons, nous l'avons déjà dit, qu'il va falloir s'habituer au statu-quo entre les différents systèmes.

Les disques sont maintenant assez facilement disponibles et leur liste est relativement importante. Le problème est que le manque d'informations claires à la disposition des utilisateurs et leur prudence dans le domaine des achats n'a pas encore facilité l'essor de ces procédés.

Une meilleure connaissance et parfois une démystification permettront certainement un développement rapide de la tétraphonie pour la plus grande satisfaction des mélomanes.

Gérard RAINGUEZ



LES MAGNÉTOCASSETTES

La cassette a-t-elle sa place dans la chaîne haute-fidélité ? Sur ce point, les opinions divergent, et cette indécision est assez fondée. On ne peut pour

autant nier les énormes progrès accomplis par les cassettes, les bandes et leurs lecteurs depuis l'époque héroïque d'un certain « Mini k 7 ».

● La cassette a été prévue pour une large diffusion et pour simplifier les manipulations. Les appareils dits à bobines libres sont en effet d'un emploi relativement complexe et ne peuvent être mis entre toutes les mains. La cassette, par contre, il suffit de la glisser dans son lecteur et d'appuyer sur un bouton. Si, par mégarde, vous appuyez sur la touche « enregistrer » alors que vous vous proposiez d'écouter la bande, la cassette elle-même interdira que cette fausse manœuvre ait une suite. La lecture terminée, on retourne la cassette et on recommence.

Pourquoi, alors, ne pas utiliser la cassette dans une chaîne haute-fidélité ? Au début, les qualités du matériel étaient évidemment décevantes et il a fallu quelques années pour que la cassette maniable et compacte acquiert ses lettres de noblesse. C'est maintenant chose faite. Les magnétocassettes, les cassettes et leurs bandes atteignent un niveau de technicité qu'on imaginait mal en 1963 lorsque apparut sur le marché le petit K7 EL 3300 de Philips. Tout est-il cependant résolu ?

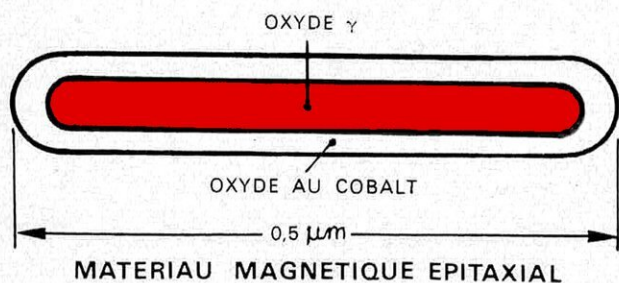
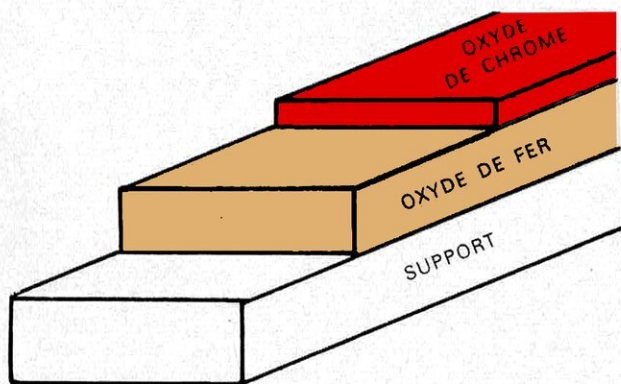
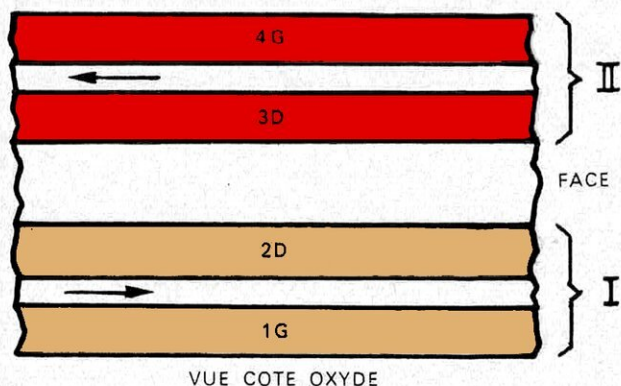
Les cassettes et leurs bandes

Lorsque Philips créa la cassette et la mit à la disposition des autres fabricants de bandes et constructeurs de magnétophones, la firme établit un standard. Ce dernier fixe la largeur du ruban magnétique, celle de chaque piste, ainsi que la vitesse de défilement.

La cassette « compact » est à quatre pistes pour respecter la compatibilité mono-stéréo. Sur la bande, on enregistrera côte à côte les voies droite et gauche. Mais il s'agit d'une bande étroite défilant lentement. Le nombre des particules d'oxyde chargées d'emmagasiner les informations sera beaucoup plus faible que pour un magnétophone à bobines. A priori, la cassette ne pouvait donc assurer une reproduction de haute-fidélité.

C'est alors que les services de recherches des firmes se sont lancés dans la bataille avec, comme objectif, l'amélioration des oxydes. Nous avons vu apparaître les cassettes au bioxyde de chrome qui apportaient une très sensible amélio-

Les quatre pistes d'une cassette



ration de la bande passante. Puis vinrent les super-oxydes de fer.

Les dernières bandes commercialisées ont deux couches d'oxyde. L'une, profonde, se charge des basses fréquences. L'autre, superficielle, améliore la réponse aux fréquences hautes. Ce système sélectif rappelle le fonctionnement des enceintes à plusieurs voies.

Un fabricant japonais utilise un autre procédé : des particules infinitésimales d'oxyde de fer (oxyde γ c'est-à-dire Fe_2O_3 magnétique, obtenu par réduction de Fe_3O_4) sont enrobées dans un oxyde dopé au cobalt. Et un fabricant français « sort » maintenant des bandes au cobalt.

En règle générale, plus une cassette est chère, meilleure elle est. Mais il y a des exceptions. La différence de qualité entre chrome et fer ne justifie pas toujours l'écart des prix.

La compatibilité a quelque peu souffert de l'arrivée sur le marché des nouvelles bandes.

Celles au bioxyde de chrome ont, en effet demandé un effort supplémentaire à l'électronique, qui doit délivrer un niveau magnétique beaucoup plus important. De ce point de vue, les bandes à l'oxyde de fer amélioré ont l'avantage d'être acceptées par la plupart des appareils. Bien entendu, si l'on désire « optimiser » un appareil en fonction d'un type de bande donné, on a recours aux services du revendeur, lequel est généralement mal préparé à ce travail.

La partie mécanique de la cassette a longtemps été une source d'ennuis. La bande très mince, souvent malmenée, se vrillait, se froissait et allait jusqu'à coincer irrémédiablement la cassette. Le cas était fréquent avec les cassettes C 120, aux bandes particulièrement fines et qu'il est préférable d'éviter.

Plusieurs types de cassettes sont utilisés aujourd'hui. Il y a d'abord le modèle BASF dans lequel deux « défenses d'éléphant » guident la bande. Ce modèle a été adopté par Agfa, concurrent de BASF. Le procédé le plus récent est dû à Philips. Il s'agit du *Floating Foil*, dans lequel les deux bobines sont maintenues élastiquement entre les parois de la cassette par des feuilles de Mylar ondulé. Le défilement obtenu est beaucoup plus régulier.

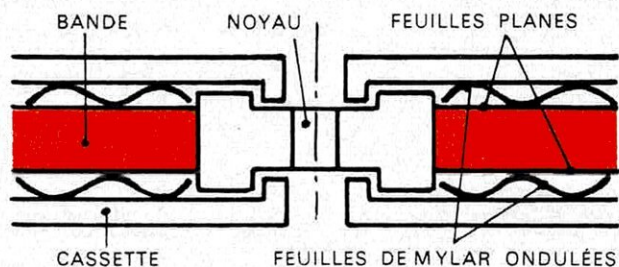
La qualité de la matière plastique a aussi un rôle à jouer. Il peut être mis en évidence lorsqu'on laisse une cassette au soleil, derrière le pare-brise de sa voiture. Une bonne cassette restera plane alors que son boîtier se gondolera. Une cassette bon marché subira le même sort que son boîtier. C'est là une expérience intéressante, mais qu'il est tout de même préférable d'éviter.

Les performances des cassettes sont difficiles à évaluer, car le lecteur a une grande importance. Les plus récents appareils (à trois têtes) ont des bandes passantes de plus de 20 kHz. Mais la même bande, introduite dans un appareil moins « sophistiqué » verra sa bande passante perdre plusieurs kHz. A quelques exceptions près, ce n'est donc plus aujourd'hui la cassette qui détermine la qualité de l'écoute.

De bonnes cassettes existent dans toutes les marques. Il faut toutefois se méfier de celles vendues trop bon marché. Peut-être seront-elles assez bonnes pour enregistrer des paroles, mais probablement pas de la musique. Quant au magnétophone à cassettes, s'il s'agit d'un modèle aux performances modestes, les cassettes « super » ne suffiront sans doute pas à lui donner ce qui lui manque. Par contre, plus le magnéto-cassette sera cher, plus les cassettes pourront l'être.

Des radiocassettes aux platines Hi-Fi

● Le plus complet des radiocassettes est stéréophonique et son prix atteint celui d'une petite chaîne Hi-Fi. Il possède quatre haut-parleurs, une puissance de sortie de quelques watts et une alimentation secteur. Il peut enregistrer les émis-



*La solution BASF (en haut) :
deux « dents d'éléphant » en matière plastique
permettent un parfait déroulement de la bande.
La solution Philips (ci-contre) :
des feuilles de plastique Mylar ondulé
maintiennent les bobines en place.*

sions stéréo en modulation de fréquence sur des cassettes au chrome ou au fer.

Pour la reproduction, les haut-parleurs ne pouvant être très éloignés, il est fait appel à un synthétiseur pour créer une sensation d'espace. Cet appareil-type, équipé d'une foule de touches, de boutons, de vu-mètres, vient du Japon et est fabriqué par Aiwa.

Les appareils des autres constructeurs (Philips, Grundig, Telefunken, Thomson) sont plus simples. Les plus évolués possèdent une commutation (automatique ou non) des corrections nécessaires pour le passage des bandes au chrome.

● **A bord des voitures**, la petite taille de la cassette et sa grande vogue populaire lui ont fait prendre la première place. La cartouche offrait cependant des avantages de robustesse mécanique et de qualité de la reproduction sur mauvaise route (pavés...). Les possibilités des appareils vont de la simple lecture à l'enregistrement.

La manière la plus satisfaisante d'utiliser les lecteurs est la reproduction des bandes enregistrées chez soi. Mais il faut faire attention à ce qu'on enregistre et maintenir une dynamique étroite, c'est-à-dire un niveau d'enregistrement élevé. Dans le cas contraire, les bruits du véhicule couvriraient la musique.

● **Les magnétocassettes autonomes** sont de toutes catégories, de qualité comme de prix. Leur amplificateur peut délivrer plusieurs watts ou centaines de milliwatts. A noter, chez Akaï et chez Philips, un appareil autonome avec changeur. Il sera très utile dans le cabinet d'un dentiste (il s'agit là d'une diffusion privée) ou dans un restaurant (mais attention aux droits de reproduction...). Ces magnétocassettes stéréophoniques pourront s'intégrer à une chaîne de haute qualité, sans autoriser cependant une véritable reproduction Hi-Fi.

● **Avec les platines Hi-Fi**, nous débouchons sur



des matériels qui, en gros, se veulent susceptibles de satisfaire les amateurs les plus exigeants. Selon la complexité de la mécanique et les possibilités offertes, le prix va de 1 000 à 8 500 F. Entre ces deux extrêmes, la différence de qualité est indiscutable. Il existe autour de 2 000 F toute une gamme de matériels assez satisfaisants.

Les réducteurs de bruit

Les magnétocassettes évolués sont équipés d'un système réducteur de bruit DNL (pour les appareils les moins chers) ou Dolby, parfois même des deux.

Dans le système DNL, qui ne fonctionne qu'à la reproduction, on supprime certaines fréquences hautes pour éliminer les bruits, nombreux à ce niveau. Dans le Dolby B, système actuellement le plus répandu, le signal est manipulé dès

l'enregistrement. On relève en effet beaucoup les aigus à très faible niveau, moins ceux dont le niveau est plus important. Lors de la lecture, on effectue une opération inverse, en réduisant nettement le niveau des aigus qui étaient les plus faibles. Les bruits se trouvent diminués dans la même proportion. Le réducteur de bruit n'entre pas en action si le niveau des aigus est important.

Un autre système, l'ANRS, est utilisé par un unique constructeur. Son principe diffère du Dolby au plan du traitement électronique du signal, mais le codage est compatible avec celui du Dolby.

Le codage Dolby n'interdit pas la compatibilité. L'oreille est en effet plus tolérante que les instruments de mesure. En écoutant une cassette sur un lecteur non pourvu du Dolby B, on ne constate qu'un relèvement des aigus. Une simple rotation du bouton correcteur de timbre suffit à rétablir l'ordre.



J.-P. Bonnin

L'électronique de base

L'équipement électronique de base de la platine magnétocassette comporte des indicateurs de niveau qui donnent la valeur moyenne de la modulation. Deux potentiomètres, ou parfois un seul pour les deux voies, permettent le contrôle. Les indicateurs répondent parfois aux crêtes du signal, ce qui, au prix d'une certaine complexité de l'électronique, permet un contrôle plus précis. Chez plusieurs constructeurs, enfin, un voyant lumineux s'allume lorsqu'une pointe de modulation va se présenter.

Les indicateurs de niveau sont également utilisés lors de la reproduction. Un potentiomètre, voire deux, commande parfois le niveau de sortie. Les sorties se font sur des prises américaines coaxiales ou sur des prises DIN. Mais la plupart des appareils construits en Extrême-Orient pos-

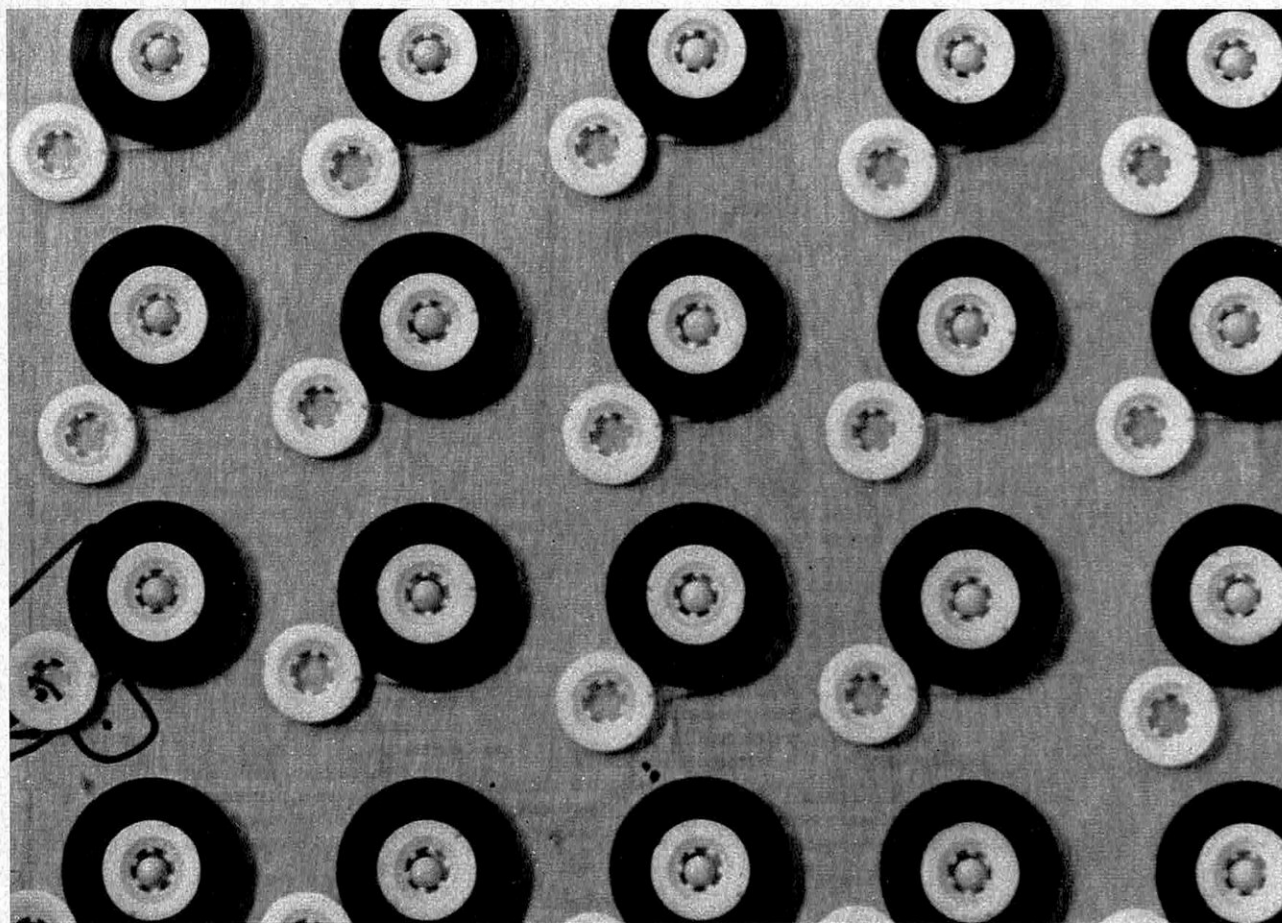
sèdent des prises aux deux standards.

Le commutateur oxyde de fer/bioxyde de chrome est un élément indispensable. Une commutation automatique est parfois possible, à condition que la cassette ait reçu des trous de codage. Les plus récents magnétocassettes permettent l'utilisation contrôlée des cassettes à deux couches.

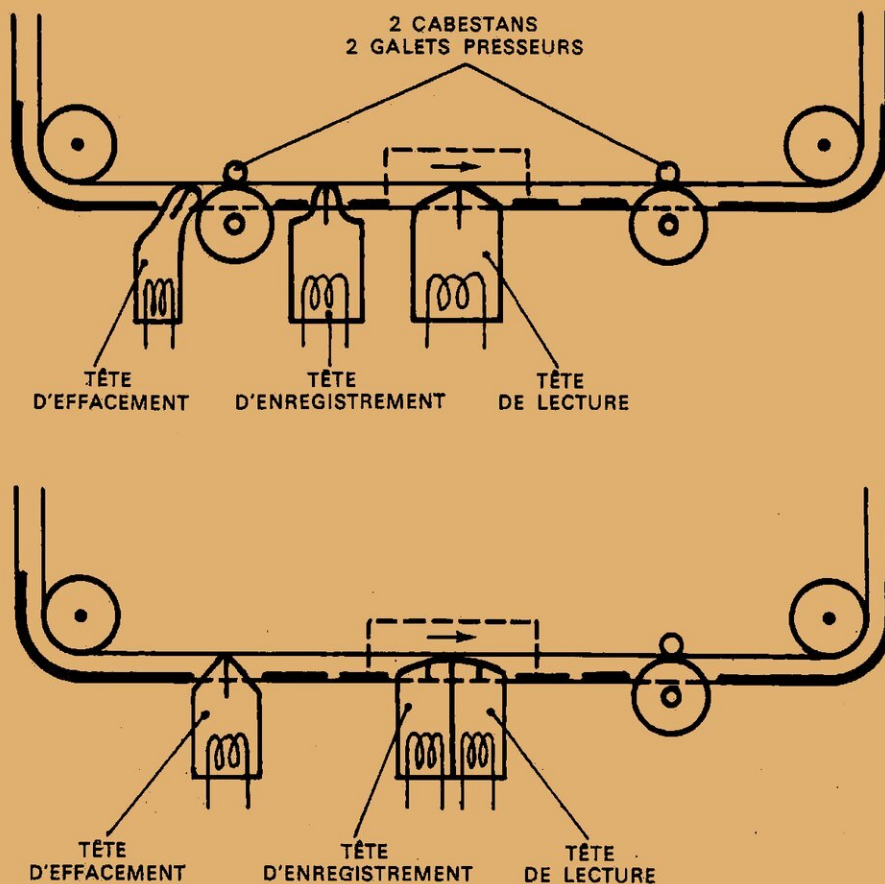
La mécanique

La miniaturisation suggère que la mécanique de l'appareil à cassette est moins robuste que celle du magnétophone à bobines. Le diamètre du cabestan est en général très petit. De plus, l'entraînement des bobines, soit pour la lecture, soit en rebobinage rapide, est complexe.

Certains appareils sont dotés de plusieurs moteurs. Les magnétocassettes à un seul moteur



*Ci-contre, en haut,
système trois têtes
Nakamichi
et Sony. En bas,
système Hitachi.*



emploient en général un moteur synchrone ou régulé en vitesse. Dans ce dernier cas, la régulation est mise hors-service pour l'avance rapide. A quelques exceptions près, la transmission s'effectue par courroie.

Un moteur auxiliaire, moins précis, peut assurer l'entraînement des portes-bobines.

Les platines à trois moteurs existent chez plusieurs constructeurs, les deux moteurs auxiliaires pouvant être montés en prise directe sur les axes porte-bobines, ce qui élimine toute transmission. Ce sont là, en fait, des cas d'espèce, et 90 % des magnétocassettes n'ont encore qu'un moteur, associé à une série de poulies et d'embrayages mécaniques ou électriques. Une imposante tringlerie transmet les ordres depuis le clavier.

Le point faible

La tête combinée constitue, indiscutablement, le point faible des magnétocassettes. Pour l'enregistrement, la tête doit avoir un entrefer relativement large, autorisant une bonne pénétration du champ magnétique. Pour la lecture, un entrefer étroit permet seul un bon décodage des fréquences élevées. On doit donc songer à des magnétocassettes à plusieurs têtes. Il y a trois ans déjà, un constructeur japonais présentait un matériel comprenant une tête auxiliaire servant uniquement au « monitoring », au contrôle après enregistrement, avec une bande passante étroite.

Deux techniques sont maintenant utilisées. Chez Nakamichi et Sony, la tête de lecture prend la place traditionnelle de la tête combinée ; la tête d'enregistrement occupe celle de la tête d'effacement ; cette dernière trouve sa place en s'enroulant autour du galet presseur !

Hitachi a, pour sa part, présenté un appareil à deux têtes accolées. L'entrefer en titane de la tête de lecture dépasse les 20 kHz en bande pas-

sante. Une comparaison directe cassette/disque ne montre alors guère de différences.

Il faut admettre que la cassette en matière plastique crée des difficultés. Le plastique joue, et la bande se place rarement dans une direction bien perpendiculaire à l'entrefer. Le problème est réduit avec une tête unique d'enregistrement/lecture, à la condition que la lecture s'effectue toujours sur le même appareil. Avec les têtes multiples, on a dû penser à un système supplémentaire pour le réglage de l'orientation de la tête d'enregistrement. La difficulté est résolue au départ avec la tête double d'Hitachi, dont la fabrication doit cependant être parfaite.

Le haut de la gamme

Il existe des super-appareils dont le prix dépasse 5 000 F. Certes, leur bande passante franchit les 20 000 Hz et ils offrent une foule de possibilités, telles que mélange des entrées, branchement de trois micros, commande du bout des doigts, logique électronique interdisant toute fausse manœuvre, entraînement par deux cabestans mis en marche l'un après l'autre pour tendre la bande, vitesse de défilement modifiable, etc. On peut parler d'appareils aux possibilités professionnelles. Mais si ces super-magnétocassettes trouvent une clientèle, on ne saurait dire qu'ils peuvent rivaliser avec un bon appareil à bobines. Si ces Nakamichi, puisqu'il s'agit d'eux, offrent d'intéressantes possibilités de montage, le magnétophone à bobines reste roi pour les truquages. Et maintenir la qualité d'un magnétocassette perfectionné exige réglages et vérifications fréquents. En quelques minutes, les 20 000 Hz de bande passante peuvent fort bien se réduire à 14 000.

La prise de sons en extérieur s'est longtemps faite sur bande, domaine où Uher s'était taillé une place de choix. Aujourd'hui, Sony et Nakamichi proposent des appareils à cassettes, mais dont le poids et le volume n'ont rien à voir avec les « minicassettes ».

Peut-on dire que le magnétocassette rattrapera le magnétophone à bobines ? La question n'a pas vraiment de sens. Il existera toujours, en effet, des appareils à bobines aux performances supérieures à tout ce qui peut fonctionner avec des cassettes. A prix égal, la bobine reste encore la meilleure solution.

Mais allez écouter vos bobines en voiture !... Dans de tels domaines, la cassette, et à condition qu'on sache s'en servir, présente des avantages indéniables.

La cassette a d'ailleurs eu une incidence importante sur la bande magnétique en général. Les exigences de la haute-fidélité ont conduit à l'étude de bandes pour cassettes de qualité. Mais ces études ont été largement bénéfiques pour les bandes plus larges.



Le Nakamichi 1000. On est loin évidemment du « mini K7 ». Pour la technique comme pour le prix.

J.-P. Bonnin

Étienne LEMERY





LES TUNERS ET LA MF

Les émissions en modulation de fréquence et les programmes stéréophoniques sont suffisamment abondants pour que se justifie l'implantation d'un tuner dans la chaîne haute-fidélité. En fait, cet élément tend de plus en plus à être intégré à d'autres, la première étape étant constituée par l'« ampli-tuner ». Quoiqu'il en soit, la qualité de ce radiorécepteur d'un genre un peu particulier ne saurait laisser à désirer.

● Le tuner est un élément typiquement Hi-Fi, né d'une séparation des fonctions réception et amplification d'un radiorécepteur. Une vieille théorie des débuts de la haute-fidélité voulait en effet que des éléments séparés soient meilleurs que des combinés. Ce n'était au fond qu'un argument commercial.

Aujourd'hui, le tuner est, avec le tourne-disques, le moyen le plus courant pour produire de la musique. Bien sûr, l'auditeur n'est pas entièrement libre de choisir son programme. Mais s'il consulte celui de France-Musique, par exemple, il y trouvera un choix d'œuvres qu'il n'aura jamais la possibilité d'acquérir sous la forme de disques. A la radio, les programmes sont d'ailleurs à peu près permanents (moins, il est vrai, en modulation de fréquence).

Les avantages de la MF

Dans une chaîne donc, le tuner est parfois un élément séparé mais, la plupart du temps, il est intégré dans un autre élément qui peut être un ampli-tuner associé à deux enceintes et à une platine tourne-disques ; qui peut être encore un combiné plus élaboré, sorte de super-électrophone où tous les éléments sont montés sur un châssis commun. Cette dernière solution connaît une vogue croissante et il suffit de noter que les Japonais se sont lancés dans cette voie pour saisir son importance.

Lorsqu'on parle de Hi-Fi, on sous-entend deux notions. D'une part, la qualité de reproduction des fréquences, autrement dit la bande passante. D'autre part, la stéréophonie, c'est-à-dire la reproduction du relief sonore.

En radio, deux procédés sont mis en œuvre pour assurer les transmissions. Il s'agit d'une part de la modulation d'amplitude sur les moyennes et grandes ondes. D'autre part, de la modulation de fréquence. La modulation d'amplitude procède par changement de l'amplitude d'un signal haute-fréquence en fonction de la fréquence audiofréquence. En modulation de fréquence, c'est la fréquence instantanée qui se modifie en fonction du signal audiofréquence. La différence de qualité sonore entre les deux procédés est manifeste. La MF donne un son plus clair et dénué de parasites.

Le son plus clair, la MF le doit à sa bande pas-

sante plus large. En modulation d'amplitude, il existe en effet de très nombreux émetteurs et chacun d'eux n'a eu droit qu'à une bande de fréquences étroite. Il faut en effet tenir compte de la portée des émetteurs moyennes et grandes ondes. Des interférences seraient, avec des bandes de fréquences élargies, inévitables.

En modulation de fréquence, qui utilise des ondes métriques, la portée des émetteurs est beaucoup plus faible. Si bien que, sur un même territoire, plusieurs émetteurs peuvent travailler sur les mêmes fréquences et disposer d'une bande large.

La retransmission stéréophonique exige une bande de fréquences particulièrement large. On doit en effet transmettre deux signaux côte à côte. L'un est la somme des signaux droite et gauche, l'autre leur différence.

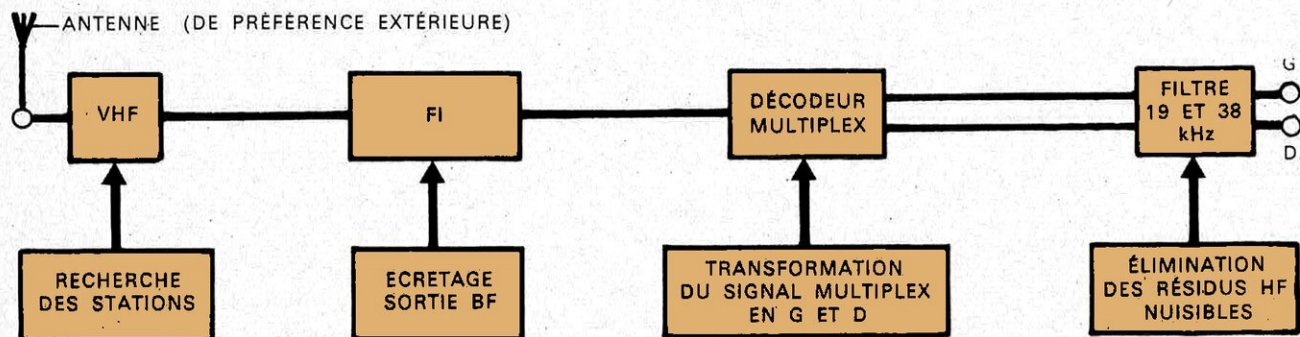
Ainsi la MF, par l'utilisation de hautes fréquences porteuses, couvre une bande passante de 50 à 15 000 Hz. Et elle élimine largement les parasites. En modulation d'amplitude, un parasite radioélectrique qui vient se superposer à l'émission sera modulé comme un signal utile. En modulation de fréquence, les parasites superposés à l'onde HF sont écrétés par les amplificateurs et n'apparaîtront pas, à moins qu'ils soient très puissants.

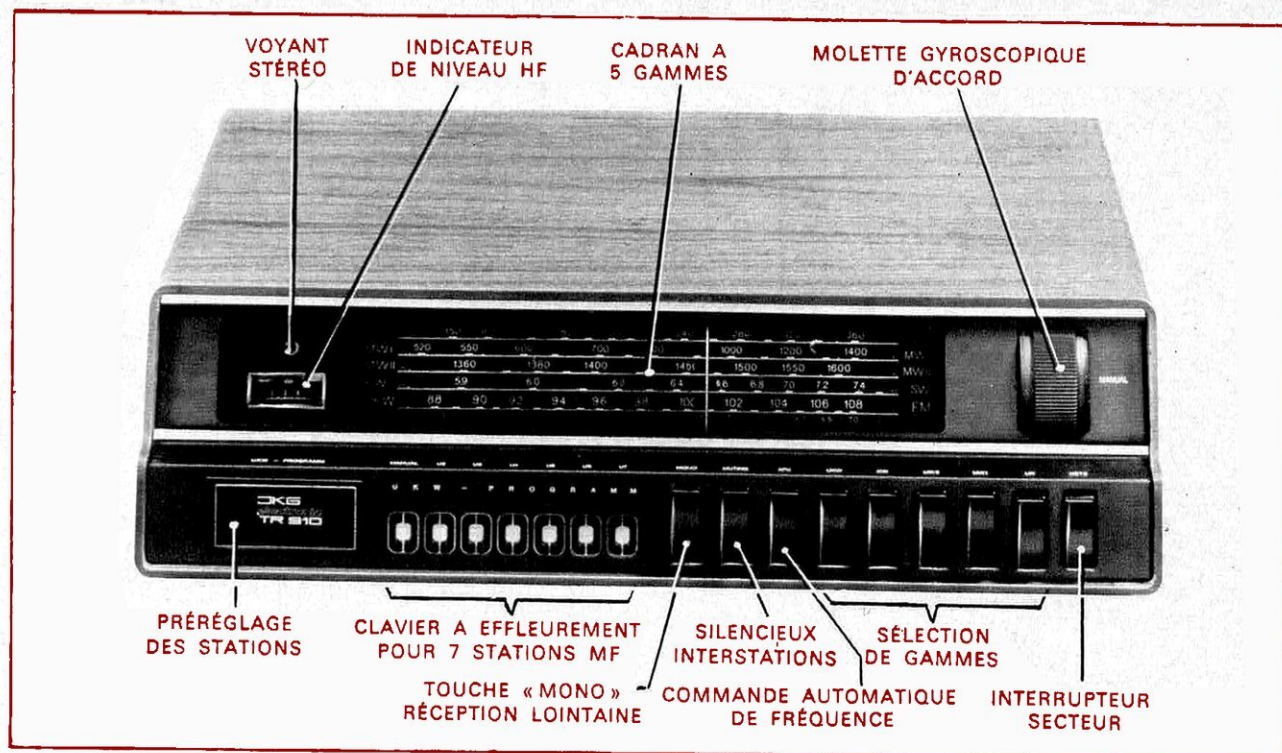
Le tuner élémentaire...

Le tuner doit posséder la gamme modulation de fréquence, c'est-à-dire recevoir les ondes ultra-courtes. Il délivre sur sa sortie deux signaux, identiques ou différents selon qu'il s'agit de mono ou de stéréophonie. Il possède une tête haute-fréquence pour la réception, qui sélectionne la station. Le signal passe ensuite par un amplificateur à fréquence intermédiaire où il est démodulé. Au-delà, un décodeur stéréo sépare le signal multiplex en deux. Un filtre plus ou moins élaboré élimine certains résidus HF. Un pré-amplificateur amène enfin le signal à un niveau suffisant pour l'attaque des amplificateurs.

La gamme MF est souvent complétée par une ou plusieurs gammes AM. Très souvent, sur les appareils d'origine américaine ou japonaise, il s'agit d'ondes moyennes. Les Européens ajoutent plutôt les grandes ondes, très appréciées en France pour la réception des stations périphériques.

Schéma synoptique d'un tuner





Voyants et commandes d'un tuner évolué

Si le tuner ne dispose d'autre chose que de la gamme MF, on peut relier un poste à transistors à la chaîne.

En modulation d'amplitude, le tuner doit être associé à une antenne ferrite de préférence orientable. Cette antenne ne reçoit pas les parasites venant d'autres directions que celle de l'émetteur.

Le tuner élémentaire que nous avons décrit n'existe pas vraiment. Il est toujours complété d'un certain nombre de dispositifs chargés de simplifier les manipulations ou d'améliorer la réception.

... et ses accessoires

L'atténuateur local/distance est un interrupteur placé près des bornes d'entrée, c'est-à-dire à l'arrière du tuner. Il sert à réduire l'amplitude des signaux et s'avère indispensable lorsque l'appareil est placé à proximité d'un émetteur, évitant la saturation des premiers étages. Les derniers progrès de la technique des semi-conducteurs ont permis de supprimer cet organe.

La commande automatique de fréquence (CAF) est une garantie de stabilité de la réception. L'oscillateur local, qui détermine la station reçue, est composé de plusieurs éléments pas toujours stables en température. Une dérive entraînerait une détérioration de la réception. On a donc prévu, sur certains appareils, une commande automatique de fréquence. Celle-ci agit selon le principe suivant. Dès que l'oscillateur dérive, apparaît à la sortie du démodulateur MF une tension continue, laquelle est réinjectée à l'oscillateur local et modifie la fréquence en sens inverse de la dérive originale. Le raffinement

suprême en matière de CAF est sa mise hors circuit pendant l'accord.

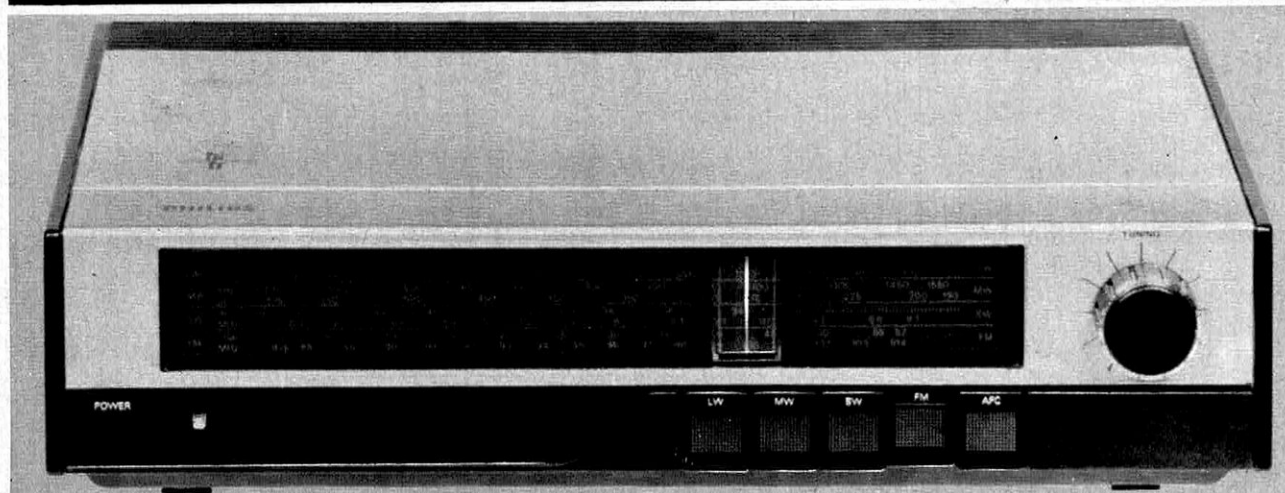
Les stations préréglées se trouvent sur la plupart des tuners européens. Elles sont intéressantes lorsque le nombre des stations n'est pas très important, ce qui est le cas en France. Il suffit alors d'appuyer sur la touche correspondant à la station pour la retrouver. Une amélioration à ce principe est apportée par les systèmes « touch-control » où la touche est un simple contact qu'il suffit d'effleurer du doigt pour changer de station. Les appareils les plus complets possèdent des stations préréglées aussi bien en modulation de fréquence qu'en grandes ou en moyennes ondes.

Le silencieux interstations est un interrupteur qui n'autorise le passage de la basse-fréquence, donc du signal audible, que lorsque la qualité de réception est suffisante. Pour recevoir une station lointaine noyée dans le bruit, il faut mettre hors service ce dispositif.

Le commutateur monostéréo est aussi un élément utile. Cette fois, et contrairement à la fonction homologue qui existe sur les amplificateurs, il ne s'agit pas de mettre les deux voies en parallèle mais de supprimer le décodage. Le commutateur prouvera son intérêt lors d'émissions stéréophoniques de qualité médiocre. Ces émissions entachées de bruits seront très bien démodulées en monophonie.

Une version plus élaborée de ce dispositif consiste à mélanger non pas tout le signal, mais seulement les fréquences hautes. On conserve ainsi un effet spatial restreint, tandis qu'une grande partie du souffle a disparu.

La modulation de fréquence est soumise à certaines normes, pas toujours internationales.



Du modèle simple au modèle évolué : en haut, un tuner « minimum » à une seule gamme d'ondes, la MF (Quad). En bas, tuner stéréo Philips, quatre

gammes, contrôle automatique de fréquence, décodeur stéréo à commande automatique et voyant. Ce modèle est d'apparition récente.

C'est le cas, en particulier, de la désaccentuation. A la réception, le circuit correspondant supprime une partie des aigus. La fréquence à laquelle le circuit commence à agir est, aux Etats-Unis, inférieure à celle adoptée en Europe. Certains récepteurs sont livrés avec un commutateur interne permettant de choisir le standard. Si un récepteur paraît donner son son un peu sourd ou manquant de brillant, le commutateur est peut-être resté dans la mauvaise position et le filtre agit à fréquence trop basse.

L'évolution des composants

Les techniques de fabrication des tuners évoluent sans cesse. Les constructeurs recherchent avant tout l'élimination des réglages et la simplification de la fabrication. Les circuits intégrés et

les filtres « solides » sont particulièrement appréciés en ce domaine.

Les circuits intégrés assurent plusieurs fonctions réunies dans un seul boîtier ; les filtres céramique sont également de petits boîtiers qui se chargent de moduler la courbe de réponse des circuits haute-fréquence. Les Européens sont dans ce domaine plutôt plus avancés que les Japonais, qui ont longtemps conservé des solutions très classiques : transistors et bobinages.

Côté réception, les transistors à effet de champ à double porte sont de plus en plus employés. Ils permettent de recevoir des signaux de très fort niveau sans distorsion. On peut aussi régler leur gain sans difficulté en fonction du niveau.

Le décodeur stéréophonique est le composant qui a le plus rapidement évolué. Du transistor, on est vite passé au circuit intégré utilisant des bobinages, puis aujourd'hui au circuit intégré où

un seul potentiomètre suffit à assurer l'alignement. Ce circuit utilise un système à asservissement de phase qui se règle automatiquement sur l'émission stéréo. Ces techniques ont d'abord été employées sur des appareils très « sophistiqués », mais, depuis l'apparition de circuits intégrés spécialisés, il se rencontrent dans beaucoup d'appareils, même de bas de gamme.

Les super-tuners

Ces appareils, qu'on peut admirer dans les expositions et autres Festivals du son, sont très chers, mais assurent une qualité d'écoute sans pareille. Le moins cher des tuners à modulation de fréquence doit coûter à peu près 800 F, tandis que les plus onéreux doivent dépasser 20 000 F.

Dans un super-tuner, l'indication des fréquences se fait par diodes électroluminescentes, un oscilloscope incorporé permettant de contrôler la qualité de la réception et éventuellement d'orienter l'antenne en conséquence. Le taux de distortion d'un tuner de ce genre atteint des valeurs telles que la mesure en est pratiquement impossible. Sur l'écran de l'oscilloscope, il est également possible de visualiser les émissions voisines de celle sur laquelle est accordé le récepteur. Mais ce n'est là qu'un bref aperçu des possibilités d'un appareil construit par exemple aux Etats-Unis par Sequerra.

D'autres constructeurs offrent des tuners à accord dit digital. L'accord digital, ce peut être simplement un circuit normal auquel a été ajouté un fréquencemètre qui calcule la fréquence d'émission. Ce peut être aussi un système à synthétiseur fonctionnant à partir d'un quartz dont la fréquence est d'une précision absolue. La fréquence varie alors par bonds de 50 ou 100 kHz.

Une restriction d'emploi peut apparaître sur certains appareils d'origine américaine. Aux Etats-Unis, en effet, la gamme MF commence à 88 MHz tandis qu'en France, elle débute à 87,5 (France Inter : 87,8 MHz). Certains tuners ne pourront peut-être pas recevoir toutes les émissions et il convient de s'en assurer. Quelques appareils disposent d'une sélection d'émetteur par lecteur de cartes ; d'autres ont des touches pré-réglables ou une recherche automatique de programme.

L'avenir du tuner

La qualité de la réception en modulation de fréquence est excellente et le bruit de fond très réduit. Il existe pourtant des systèmes de réduction de bruit déjà employés dans les magnétophones à cassettes et dont l'application aux émissions stéréophoniques a fait l'objet d'études. Il s'agit du Dolby B, déjà utilisé sur certains émetteurs américains. Le Dolby B travaille d'une façon similaire à celle des circuits de préaccentuation et de désaccentuation, la différence essen-

tielle étant que la dose de préaccentuation est variable en fonction du niveau du signal.

Pour le moment rien n'est fait en France, et rares aux Etats-Unis sont les tuners qui possèdent ce décodeur certainement coûteux. En attendant la généralisation de tels dispositifs, on peut toujours mettre à profit le réducteur de bruit d'un bon magnétocassette.

La tétraphonie peut intéresser elle aussi la modulation de fréquence. Il se pose bien entendu un gros problème de codage à l'émission. On a proposé un procédé, le Dorren, qui utilise une nouvelle sous-porteuse modulée par des différences de signaux. Ce procédé est compatible, c'est-à-dire que, dans la bande de fréquence audible, on transmet la somme des voies avant et arrière. Comme il faut transmettre d'autres informations, on est conduit à sacrifier un peu de la puissance du signal monophonique. Pour conserver, à qualité égale, une zone d'écoute donnée, il faudra augmenter la puissance de l'émetteur.

Quant aux tuners, ils devront posséder un démodulateur tétraphonique complexe, et le signal arrivant à l'antenne une qualité supérieure.

Comme pour le Dolby, il faudra attendre sans doute très longtemps avant qu'une telle solution se concrétise, si toutefois elle le fait jamais.

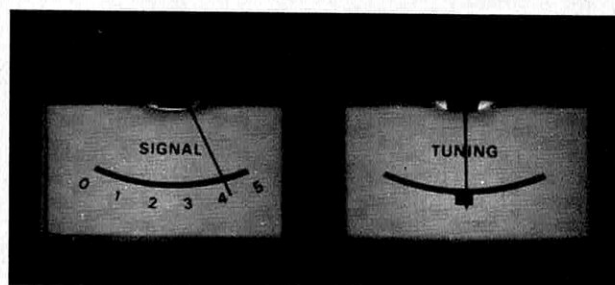
Que sera le tuner de demain ?

Sans aller jusqu'aux super-tuners que nous avons évoqués, on verra sans nul doute apparaître des appareils plus sophistiqués. Les commandes par effleurement et les stations pré-réglées se multiplieront. L'affichage numérique remplacera la cadran et sa ficelle. Déjà un fabricant de circuits intégrés a présenté un dispositif assurant cette fonction : associé à un autre circuit, il peut même afficher l'heure ! Il ne s'agit pas là d'un synthétiseur, mais d'un compteur qui peut travailler en MF, et en ondes courtes ou moyennes.

Les décodeurs stéréophoniques utiliseront de plus en plus les boucles de phase asservies, même sur les moins chers des appareils. Le mouvement est déjà amorcé. Mais Dolby et tétraphonie ne sont pas encore à notre portée.

Insistons pour finir sur un point souvent négligé, celui de l'antenne de réception. Quel que soit le tuner, si on ne lui fournit pas un signal d'une qualité suffisante, il ne pourra jamais donner une musique digne de la Haute-Fidélité.

Etienne LEMERY



QUOI DE NEUF A BERLIN ?



Que trouverons-nous sur le marché, en matière de Hi-Fi, dans un avenir proche ? Cet avenir, nous sommes allés le découvrir à l'automne dans les allées du Salon de Berlin. Cette manifestation, qui a lieu tous les deux ans, reçoit les industries électroniques de loisir : radio, puis télévision, et maintenant haute-fidélité.

Les constructeurs de matériel de télévision avaient une grande « première » : les casques d'écoute sans fil. Au téléviseur est annexé un émetteur infrarouge dont le rayonnement est modulé en fréquence par le signal « audio ». Cette technique, nous l'avons trouvée, à titre plus expérimental, en stéréophonie. Un tel accessoire, qui serait bien pratique pour les écoutes tardives, n'a cependant pas donné lieu à des démonstrations convaincantes. On peut d'ailleurs s'interroger sur deux points. La directivité du système et la qualité d'écoute qu'il procure.

D'autres systèmes de télécommande étaient présentés. Par exemple le système à ultrasons

de Uher destiné à un magnétophone. Des circuits intégrés spécialement conçus pour les téléviseurs se chargent du codage des « ordres ». On n'a tout de même pas encore trouvé le moyen d'utiliser la télécommande par ultrasons pour changer un disque ou retourner celui qui est sur le plateau... ITT n'a pas cette ambition, mais son micro à ultrasons offre tout de même un certain intérêt. Son émission sert non seulement à mettre en route à distance un magnétocassette, mais à transmettre les paroles qui s'incrivent sur la bande. Nous sommes en plein James Bond !...

De nouvelles bandes pour cassettes

A propos de cassettes, on note une activité toujours intense des fabricants de bandes. Au moment où paraîtra ce numéro, peut-être une firme aura-t-elle découvert encore un nouvel oxyde... A Berlin, nous avons vu un grand constructeur allemand se lancer dans la bande

à double couche. C'est BASF avec sa Ferrochrome. Il s'agit d'une bande presque compatible. Si vous avez un magnétocassette prévu pour les bandes au chrome, le positionnement du sélecteur sur « fer » donnera une bonne reproduction sonore. Mais le résultat sera supérieur à ceux d'une bande au chrome avec un magnétocassette plus élaboré, comportant sélection, d'une part de la prémagnétisation, d'autre part de la courbe d'enregistrement. On note, ainsi, un certain recul de la bande au chrome. TDK proposait d'ailleurs une bande au fer dont on nous dit qu'elle se règle comme une bande au chrome.

Ces nouveautés amènent à une constatation : que, dans un proche avenir, l'acquéreur d'un magnétophone à cassette devra passer son... « permis de conduire », tant la simplicité d'origine du système est maintenant perdue de vue.

Des « compacts » d'un nouveau genre

Quelques nouveaux appareils ont fait leur apparition. L'introduction frontale est maintenant adoptée par tout le monde. Aiwa est à mettre un peu à part : le dernier né de ses magnétocassettes fait appel à un servo-moteur pour l'introduction de la cassette en position de lecture. Cette cassette est, bien sûr, éjectée avec douceur, des composés visqueux aux silicones se chargeant de l'opération. Autre innovation chez Aiwa, un indicateur de niveau crête à deux diodes électroluminescentes. Attendez-vous, lorsque le prix de tels dispositifs aura baissé, à voir apparaître sur le marché des magnétocassettes où les deux vu-mètres à aiguille auront disparu.

De nouveaux magnétocassettes à trois têtes étaient présentés, mais leurs prix restent élevés : 5 000 F au moins.

Le magnétophone à bande libre marque le pas. Rien d'étonnant à cela, ce type d'appareil ayant

atteint son âge adulte. Un magnétophone, construit par Grundig, a hérité un récepteur à modulation de fréquence ainsi qu'un préampli lui permettant de diffuser la musique venant de disques. On a affaire, en somme, à un « compact » un peu particulier. Les compacts sont généralement nés autour d'un amplificateur qui avait accueilli successivement un tuner, un tourne-disques et, plus récemment, un magnétophone à cassettes. Ici la démarche est inverse. La formule Grundig est intéressante pour la constitution d'une chaîne secondaire ou transportable.

Chez Telefunken, et aussi chez Philips, autre démarche : la disparition du tourne-disques, remplacé par un magnétophone à cassette. Ce qui fait du « compact » un appareil que l'on peut bousculer sans dommages.

Les amplificateurs n'évoluent que vers l'augmentation de puissance. Ceux utilisant des transistors à effet de champ restent toujours le fait des mêmes constructeurs, Sony et Yamaha. La firme allemande Wega en présentait dans sa nouvelle gamme, mais, renseignements pris, il s'agit d'un matériel Sony, les deux constructeurs ayant partie liée.

Du côté des enceintes, un retour en arrière, avec la résurgence des unités de faible volume. La bagarre fait rage à qui descendra au-dessous des 2 dm³. Côté technique, les boîtiers sont en métal moulé, si bien que ces enceintes ne résonnent pas. Elles sont d'ailleurs très lourdes. Leur qualité sonore est bonne, bien que les fréquences basses souffrent un peu. L'intérêt de telles enceintes est évidemment leur faible encombrement. On ne voit pas qu'elles puissent, pour d'autres raisons, supplanter de bonnes enceintes classiques.

Les enceintes asservies restent toujours le domaine des mêmes constructeurs. Les Japonais, plus traditionnalistes, préfèrent améliorer des enceintes conventionnelles, par le choix de nouveaux matériaux par exemple.

Il est cependant peu probable qu'ils parviennent à rattraper les constructeurs européens sur leur marché. Ces derniers continuent d'ailleurs leurs recherches, même si leurs moyens sont plus limités que ceux des Japonais.

Vers la tête artificielle ?

Pour la tétraphonie, on annonçait à Berlin l'existence de 350 disques CD 4. Mais si on examine les catalogues de plus près on s'aperçoit que, par exemple, le « bruit des locomotives » figure sous une dizaine au moins d'étiquettes différentes.

La tétraphonie ne semble donc pas progresser. Pourtant, constructeurs européens ou japonais sont prêts. A Berlin, nous n'eûmes pas droit, comme il y a deux ans, à des démonstrations de radiodiffusion tétraphonique. Côté matériels, quelques tuners disposent d'une prise, qui attend toujours son décodeur.

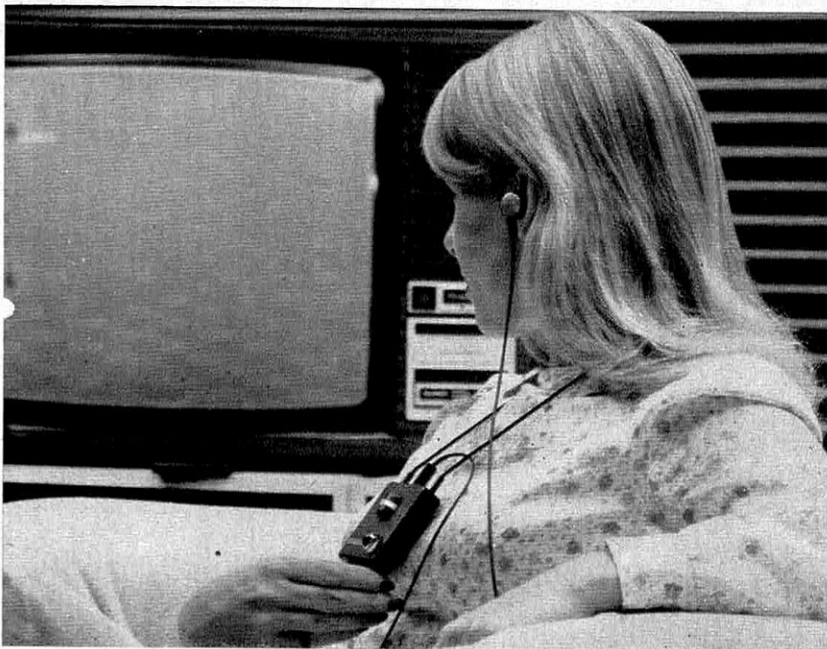
Si la tétraphonie ne s'implante pas, peut-être se rabattra-t-on sur un autre procédé, par exemple la prise de son par tête artificielle. Celle-ci n'a pas connu jusqu'ici de grands développements. Utilisant deux micros disposés comme les

oreilles de l'auditeur dans la salle de concert, elle peut donner une bonne restitution spatiale. La recherche est active en ce domaine et il existe déjà en Allemagne des « dramatiques » radiodiffusées par ce procédé.

L'industrie du casque est, en tout cas, en pleine expansion et les constructeurs font des efforts importants tant pour augmenter sa qualité que pour réduire le poids. Chez AEG, le casque utilise une technique de membranes passives et, pour un autre modèle, il reçoit des ressorts de réverbération. Chez National, un générateur électronique de retard procure un effet d'ambiance.

Le Salon de Berlin a, comme nous l'avons vu, pour vocation première la radio et la télévision. Les divers systèmes de vidéodisques y étaient bien représentés. Si nous abordons ce domaine, c'est que les capacités énormes de stockage des disques conçus pour la vidéo, du genre TED (Telefunken) ou VLP (Philips) pourraient fort bien être mises à profit pour l'enregistrement de la tétraphonie ou d'autres systèmes de reproduction sonore pluridimensionnelle. L'avenir le dira !...

E.L.



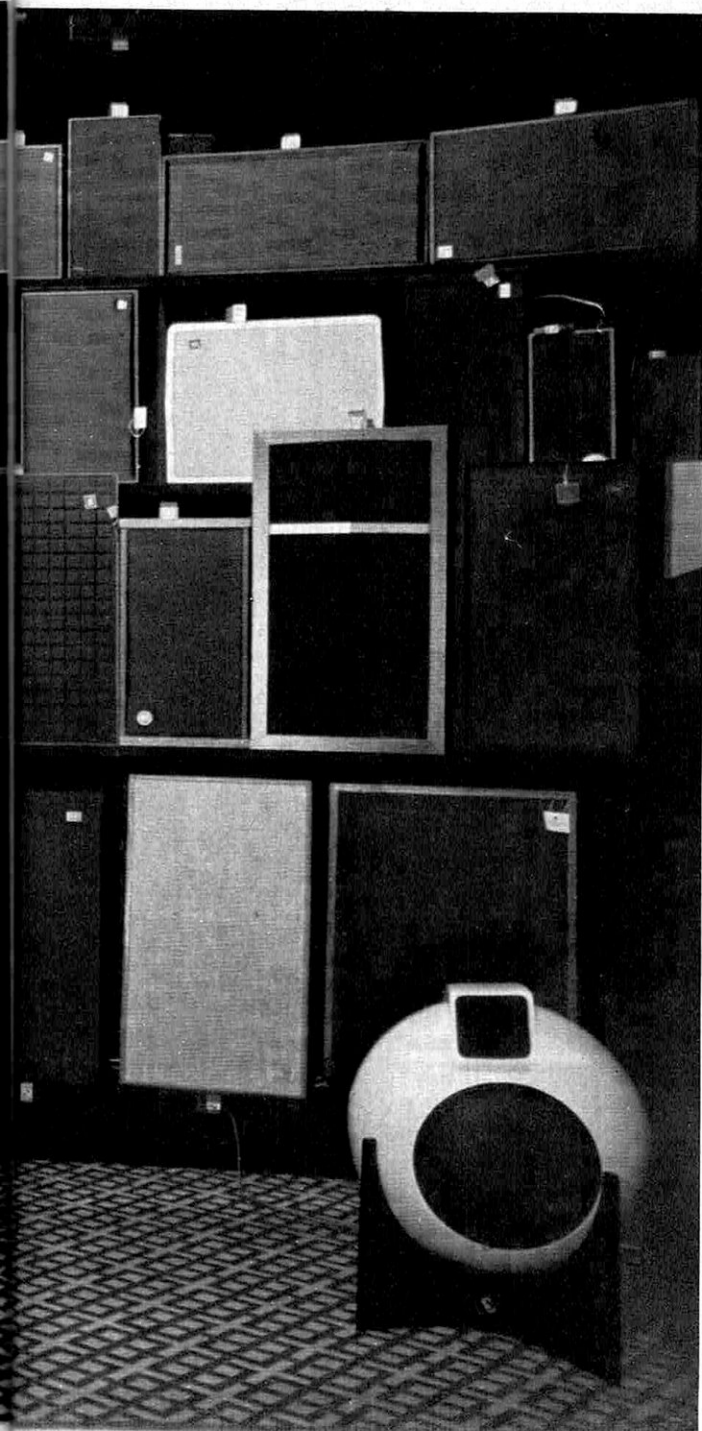
Un casque « sans fil » présenté à Berlin par Grundig. Le récepteur est pendu au cou. De tels dispositifs sont envisagés pour la Hi-Fi.

DES ENCEINTES AUX ENCEINTES ASSERVIES



Il est temps pour les constructeurs de s'attaquer efficacement au dernier maillon de la chaîne Hi-Fi, l'enceinte acoustique, qui trop souvent laisse encore à

désirer. Les systèmes d'asservissement, encore assez peu répandus, apportent une solution intéressante. On ne peut que souhaiter leur généralisation.



● Si on fait une rétrospective de l'évolution de la qualité de la reproduction sonore, on s'aperçoit que le principal souci des chercheurs avait été, pendant longtemps, l'amplificateur.

De nos jours, cet élément ne pose plus de problème. Grâce au transistor, malgré quelques nostalgiques qui regrettent les lampes, on arrive à une qualité telle qu'en voulant faire mieux, le prix s'élève dans une proportion de moins en moins en rapport avec l'amélioration obtenue (abstraction faite des divers « gadgets » qui n'apportent rien à la qualité de la reproduction sonore). Des distorsions inférieures à 0,5%, largement suffisantes pour les appareils « grand public », sont couramment obtenues pour les amplificateurs haute-fidélité.

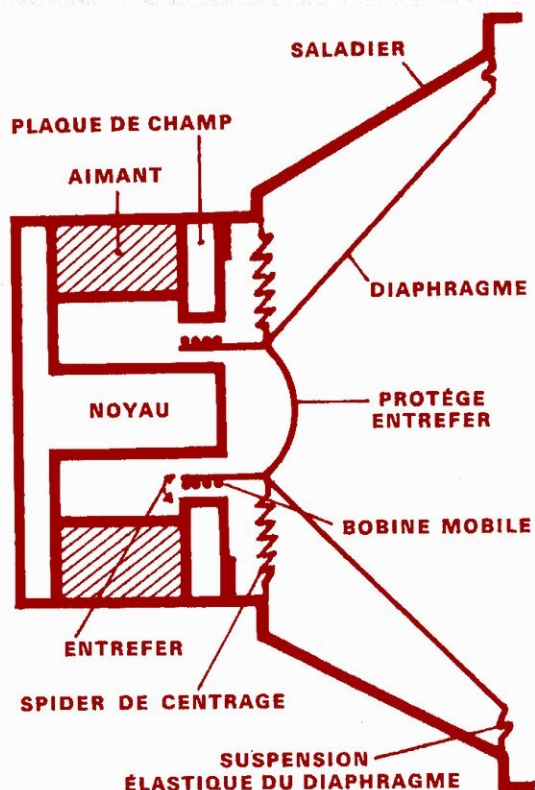
Le haut-parleur (H.P.), trop « simple », avait par contre été jugé moins digne d'intérêt et délaissé pendant longtemps. Pourtant, dans une chaîne Hi-Fi, tous les maillons sans exception doivent avoir d'excellentes performances, puisque c'est l'élément le plus faible qui donne la mesure du résultat final.

Il est par exemple inutile de posséder un très bon amplificateur si la tête de lecture (tête P.U.) est médiocre, parce que le courant audiofréquence délivré par une telle tête sera fidèlement amplifié, avec tous ses défauts.

Il en est de même pour les enceintes acoustiques, dont le ou les H.P. transforment le courant électrique modulé, reçu de l'amplificateur, en vibrations sonores qui doivent être l'image exacte de ce courant.

A force d'amélioration des maillons se situant « en amont » de l'enceinte, cette dernière est devenue petit à petit l'élément laissant le plus à désirer et le plus difficile à maîtriser. De nombreux essais ont été faits avec divers systèmes de H.P. : électrostatique (à condensateur), électromagnétique, piézoélectrique, ionique, pneumatique, etc... Ces essais ont donné des résultats plus ou moins satisfaisants, aboutissant souvent à des prix tout à fait prohibitifs.

Ainsi, le bon vieux H.P., dit dynamique ou à bobine mobile, semble difficile à remplacer, d'autant plus que son prix de revient n'est pas un obstacle majeur à son emploi. Au fil des années,



Principe du haut-parleur dynamique.

il a subi de grandes améliorations. Malgré cela, il reste imparfait, puisque ses diverses caractéristiques de performance ne sont que des compromis (plus facilement réalisables que pour d'autres types de H.P.).

Les inconvénients du H.P. unique

Pour qu'un H.P. puisse faire entendre convenablement les fréquences basses, son diaphragme (membrane, cône) doit avoir une grande surface tout en étant suffisamment rigide. En conséquence, il est lourd. Pour reproduire les fréquences aiguës, la membrane doit être légère (pour permettre les mouvements rapides), se déformer le moins possible, et sa surface ne doit pas être grande, sinon le rayonnement des fréquences aiguës devient trop directif, c'est-à-dire que l'affaiblissement sonore est important lorsqu'on s'éloigne de l'axe de rayonnement direct.

Avec l'avènement de la Hi-Fi, on s'est aperçu, avec juste raison, qu'un seul H.P. était incapable de reproduire toutes les vibrations du spectre audible. Les techniciens ont tourné la difficulté en utilisant, non pas un seul, mais deux ou plusieurs H.P., chacun étant spécialisé dans un domaine de fréquences et montés dans un même coffret. Le spectre audible, qui s'étend de 16 à 18 000 Hz, est fractionné en deux ou plusieurs gammes, limitant ainsi le travail de chaque H.P. à une zone plus étroite.

Pour reproduire les fréquences basses, on utilise un H.P. de grand diamètre qu'on appelle woofer (ou boomer) ; pour les médium et aigus,

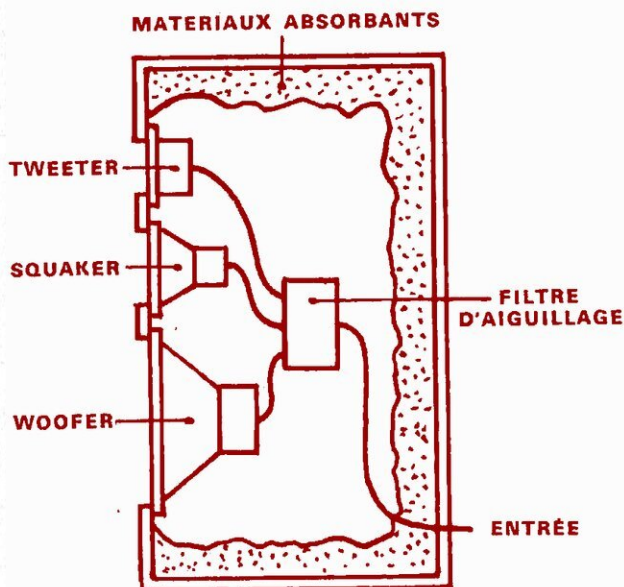
on a recours à un plus petit, avec une membrane plus légère. Telles sont les enceintes à deux H.P. qui travaillent en même temps, chacun dans son propre domaine de fréquence. Le courant audiofréquence venant de l'amplificateur est partagé à l'aide de filtres, lesquels aiguillent les fréquences basses vers le woofer et les fréquences plus aiguës vers le deuxième H.P., dit médium-aigu. On élargit, ainsi, la bande passante.

Mais pour la Hi-Fi, une telle disposition est encore insuffisante. On a alors recours à des enceintes à trois voies (trois H.P.), ce qui revient à dire qu'on facilite encore le travail, en diminuant davantage la bande passante que chaque H.P. doit reproduire.

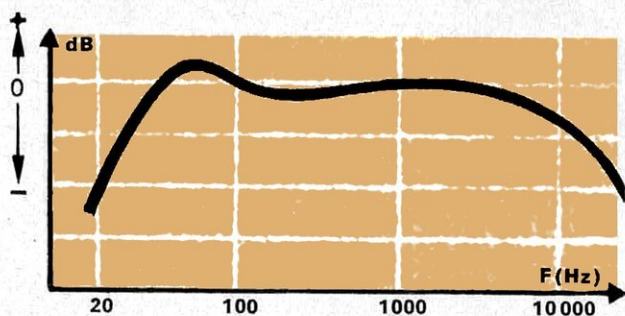
Les filtres installés dans l'enceinte aiguillent, comme plus haut, les fréquences basses vers le woofer, les médium vers le H.P. correspondant (squaker) et les aigus vers le plus petit des H.P., qu'on appelle tweeter. Suivant l'enceinte, les diamètres des diaphragmes peuvent être, par exemple, de 20 cm pour le woofer, 8 cm pour le H.P. des médium et 2,5 cm seulement pour le tweeter (les tweeters modernes ont une membrane en matière plastique en forme de dôme).

Les trois H.P. doivent travailler avec une égale efficacité. Ceci veut dire que, pour un niveau (amplitude) constant de la tension d'entrée des enceintes, le niveau acoustique mesuré au même endroit de l'espace (généralement devant l'enceinte et à 1 m de distance), doit être également constant lorsqu'on fait varier la fréquence.

Les constructeurs matérialisent cette régularité de la transformation électroacoustique sous la forme d'un diagramme (courbe de réponse), ou par l'indication chiffrée des fréquences extrêmes et de la tolérance en décibels par rapport au niveau de référence (1 000 Hz sont universellement adoptée dans le monde). La mesure en décibels donne le rapport d'atténuation ou de « suramplification » ($\pm$ ndB) par rapport



Enceinte close à trois voies. Le filtre d'aiguillage partage en trois le spectre audiofréquence.



Exemple d'une courbe de réponse électroacoustique. La fréquence de 1 000 Hz est la référence.

à la référence. Par exemple, la mention, ± 3 dB ou ± 6 dB signifie que le niveau, à la fréquence considérée, peut être respectivement de 1,4 ou 2 fois plus grand ou plus petit que celui de la fréquence de référence.

Problèmes en tous genres

Pour obtenir une bonne courbe de réponse, il faut éviter ce qu'on appelle le court-circuit acoustique, qui influe fortement sur la reproduction des fréquences basses. Il consiste en l'annulation mutuelle des deux ondes, avant et arrière, rayonnées par le diaphragme du H.P. Au moment où la membrane avance, en effet, la pression d'air créée à l'avant, au lieu de se propager vers l'auditeur, a tendance à contourner le H.P., « aspirée » en quelque sorte par la dépression se produisant en même temps côté face arrière.

A cause de ce phénomène, les H.P. des enceintes modernes sont montés sur le panneau avant d'un coffret clos, qui permet d'isoler complètement les deux ondes. Mais, comme nous le verrons plus loin, certaines techniques, dites *bass-reflex*, font exception à la règle.

Les H.P. ont, d'autre part, une fréquence de résonance propre qui est due à la masse et à la suspension élastique du cône (diaphragme), particulièrement néfaste pour le H.P. des graves. Cette fréquence de résonance doit être aussi basse que possible, puisque en dessous, la reproduction sonore chute rapidement (environ 12 dB par octave). Nous verrons plus loin comment ce défaut peut être corrigé par l'asservissement (contrôle électronique des mouvements du diaphragme), qui améliore considérablement la qualité de la reproduction sonore.

A la fréquence de résonance, les déplacements du cône peuvent atteindre une amplitude prohibitive, faisant sortir la bobine mobile du champ magnétique de l'entrefer et faisant travailler la suspension élastique du cône dans des zones non uniformes. Le résultat est la distorsion dite non linéaire, c'est-à-dire l'apparition d'harmoniques qui n'existaient pas à l'origine, particulièrement désagréables si elles sont de rang impair.

Par manque de rigidité des parois, l'enceinte peut, d'autre part, vibrer, et ajouter des sons

parasites, d'où la nécessité d'un coffret aussi rigide que possible. De ce point de vue, les petites enceintes sont avantagées.

En ce qui concerne les fréquences médium et aiguës, les problèmes de la résonance (et des vibrations parasites de l'ébénisterie) sont beaucoup moins importantes, parce que ces résonances tombent, dans la plupart des cas, en dehors des zones de travail des H.P.

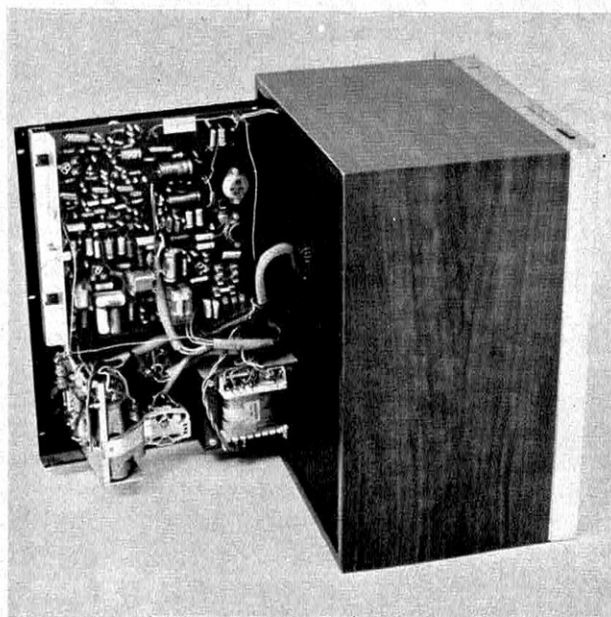
Sans avoir épuisé tous les problèmes à résoudre, on peut dire que, dans l'état actuel de la technique, la grande difficulté est la reproduction correcte des graves, surtout à cause de la fréquence propre des H.P., phénomène physique naturel difficile à éliminer dans les enceintes traditionnelles (non asservies).

Comment a-t-on pu, en pratique, tenir compte de ces faiblesses dans l'élaboration des enceintes acoustiques ?

Avant la stéréophonie, les H.P. étaient incorporés dans l'ébénisterie de l'appareil radio ou radio-phono. Puis, au début de la stéréophonie, de nombreux constructeurs mettaient sur le marché des meubles radio-phono de forme allongée, comportant un H.P. à chaque extrémité. Le meuble était encombrant et le rendu acoustique médiocre. Il y avait aussi un grand risque d'effet Larsen, par voie de transmission mécanique, entre H.P. et tourne-disques, sans parler des vibrations mécaniques parasites dues à la complexité des appareils eux-mêmes.

Très vite, on a séparé les appareils proprement dits des H.P., en installant ces derniers dans des coffrets à part, avec l'avantage de permettre un emplacement meilleur sur le plan acoustique tout en dérangeant moins l'agencement de la salle de séjour. Petit à petit, diverses enceintes plus ou moins volumineuses sont apparues sur le marché, d'abord avec un seul H.P., ensuite avec plusieurs.

Pour des raisons commerciales, les enceintes



Avec les enceintes à asservissement, la complexité, du point de vue électronique, devient la règle.



Les enceintes closes antirésonantes ont certains inconvénients qui conduisent à des formes spéciales.

avec un seul H.P. existent toujours. Pour la plupart d'entre elles, le H.P. utilisé est un bi-cône. La bande passante est nettement améliorée vers les fréquences aiguës. D'une manière simplifiée, on peut considérer que le petit cône reproduit les fréquences aiguës, tandis que le grand reproduit les fréquences basses.

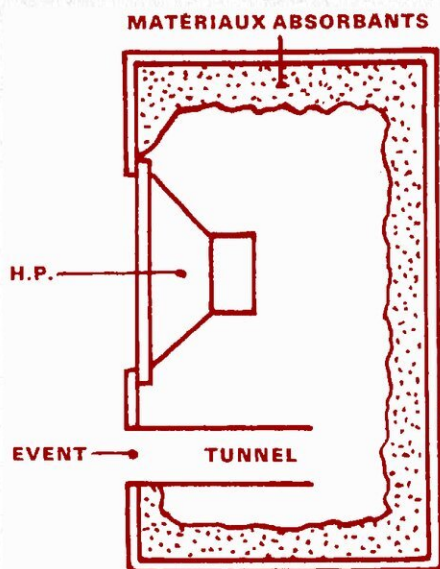
Mais la membrane d'un H.P. bi-cône doit être suffisamment légère, et, en conséquence, elle est moins rigide. Le long de son rayon peuvent se produire des déformations donnant naissance à des ondes stationnaires, en opposition de phase avec les vibrations originales engendrées par la bobine mobile. Ainsi peuvent se créer, au-delà d'une certaine fréquence, des irrégularités plus ou moins importantes dans la courbe de réponse. On dit que la membrane ne vibre pas en « piston ».

Dans les enceintes modernes, pour des raisons de rigidité du cône et d'adaptation au volume interne du coffret, on préfère utiliser des woofers

de plus petit diamètre, et on compense la perte de la surface rayonnante par une élongation plus grande du cône. Pour éviter la distorsion qui pourrait en résulter, on multiplie par deux ou trois la longueur de la bobine mobile, ce qui empêche cette dernière de sortir du champ magnétique.

Dans les enceintes à deux H.P., on fait travailler le premier jusqu'à environ 2 000 Hz, et le second au-delà. Deux mille Hz est la fréquence de coupure (indiquée dans les notices des constructeurs) et déterminée par les filtres d'aiguillage installés dans l'enceinte. Avec les enceintes à deux voies, on peut obtenir une courbe de réponse linéaire à ± 3 dB entre 50 et 20 000 Hz.

Pour les enceintes à trois voies, on trouve une fréquence de coupure à 500 Hz et une à 5 000 environ. On obtient ainsi une courbe de réponse pouvant descendre jusqu'à 35 ou 40 Hz, soit un élargissement de 10 à 15 Hz par rapport aux enceintes à deux voies.

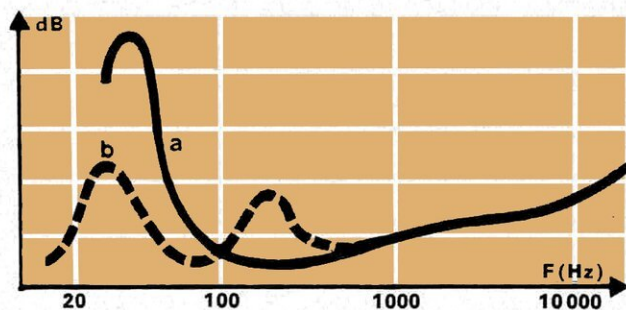


Enceinte anti-résonante bass-reflex.

Il est bon de remarquer que descendre plus bas en fréquence comporte le risque de faire percevoir les ronflements dus aux amplificateurs et le « rumble » des tables de lecture et des magnétophones, sans parler de celui qui souvent est enregistré sur les disques. A l'opposé, monter trop haut en fréquence, c'est accepter le risque de trop percevoir les « parasites » et le bruit de fond (souffle) qui est inhérent aux bandes magnétiques et aux disques, ainsi qu'aux appareils électroniques eux-mêmes (l'origine, pour ces derniers, est thermique). Il en découle que pour la Hi-Fi, on doit utiliser un appareillage qui produit le moins possible de ronflements et de bruit de fond.

Quelques types d'enceintes

Dans les enceintes traditionnelles closes (dites « baffle infini », l'onde rayonnée par la face arrière du cône est perdue pour l'auditeur, à cause du principe même de l'enceinte et des matériaux absorbants (laine de verre, etc.) qui capotonnent les parois internes du coffret. Ces matériaux doivent faire disparaître, en la transformant en chaleur, toute l'énergie rayonnée par la face arrière du cône. On cherche ainsi à limiter les phénomènes de résonance interne et

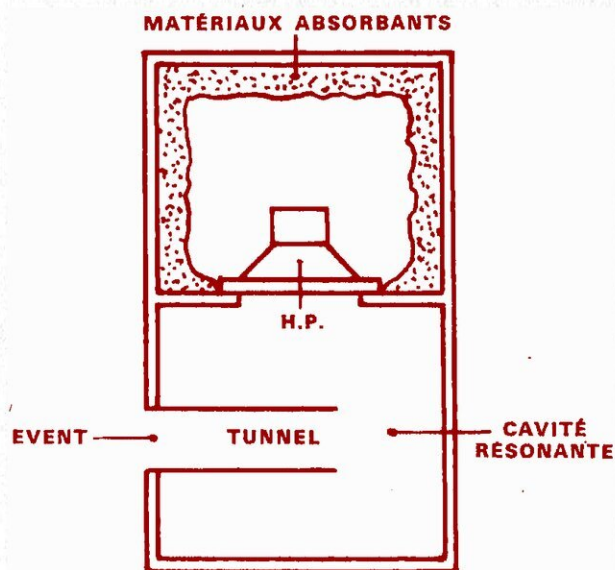


Courbes d'impédance montrant la résonance des H.P. a : enceinte close ; b : bass-reflex.

les vibrations parasites des parois du coffret, ainsi que les ondes réfléchies pouvant perturber le bon fonctionnement du H.P.

Le rendement des H.P. étant très faible (souvent inférieur à 5 %), certains constructeurs ont pensé, à juste raison, à récupérer l'onde arrière perdue du H.P. des graves, toujours défavorisé par l'adaptation à l'environnement, d'où un rendement encore diminué. C'est l'enceinte dite bass-reflex.

Dans ce type d'enceinte dite aussi « anti-résonante », le woofer est mieux chargé, et il s'ensuit que l'amplitude de sa fréquence de résonance est fortement atténuée. A la place, on trouve deux fréquences d'amplitudes beaucoup plus faibles. Lorsque l'enceinte est bien conçue, ces deux « bosses » sont d'égale hauteur et se trouvent de part et d'autre de la fréquence de résonance originelle.



Enceinte à cavité antirésonante en avant du diaphragme du haut-parleur (non bass-reflex).

L'onde arrière rayonnée par le diaphragme est renvoyée vers l'avant, à travers un tunnel et un évent de dimensions appropriées, et s'ajoute à l'onde avant. Leurs phases coïncident lorsque le son reproduit correspond à la fréquence de résonance du H.P. L'inertie de l'air dans le tunnel et son élasticité dans la cavité donnent une fréquence de résonance qui doit correspondre à celle du H.P.

On augmente ainsi le rendement électroacoustique de l'enceinte en même temps que l'étendue de la courbe de réponse du côté des notes extrêmes graves. L'inconvénient est que ces enceintes sont obligatoirement volumineuses (200 dm³ et plus). Ceci est nécessaire pour permettre un accord convenable, sur une fréquence aussi basse que possible, entre la fréquence de résonance du H.P. et celle de la cavité anti-résonante. Il y a intérêt à utiliser un H.P. de grand diamètre (30 cm) qui, entre autres, compense en quelque

sorte la chute plus rapide de la puissance sonore rayonnée aux fréquences inférieures au premier sommet de la courbe.

La réalisation d'une telle enceinte est relativement minutieuse si on veut éviter des « accidents » trop marqués dans la courbe de réponse, et il est souvent nécessaire d'utiliser d'autres H.P. plus petits pour le médium et les aigus.

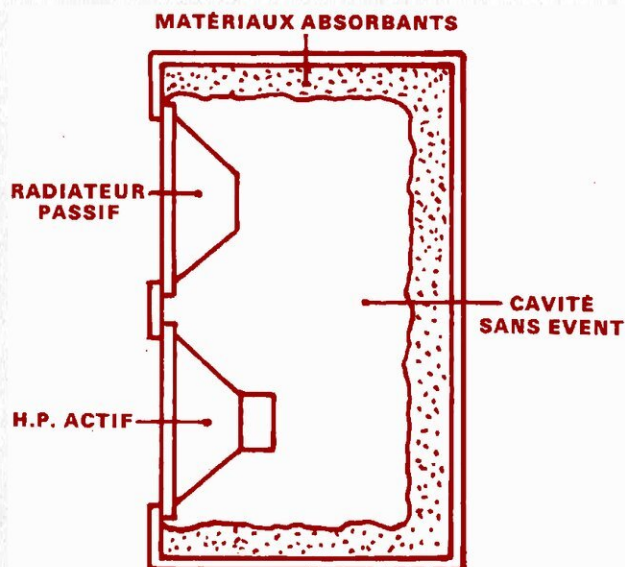
Du point de vue de l'utilisateur, l'encombrement est un handicap majeur. La fréquence de résonance du woofer, par vieillissement de ce dernier, peut varier dans le temps, produisant un dérèglement entre cavité et H.P., avec comme résultat une mauvaise reproduction des fréquences basses.

Certaines enceintes de faible volume et à évent peuvent ne pas être bass-reflex. Dans ce cas, le rôle de l'ouverture, qui peut être en dessous ou à l'arrière, est de décompresser l'intérieur du coffret pour éviter que la fréquence de résonance du H.P. ne devienne trop élevée et limiter les vibrations des parois de l'ébénisterie lorsqu'elle n'est pas suffisamment rigide.

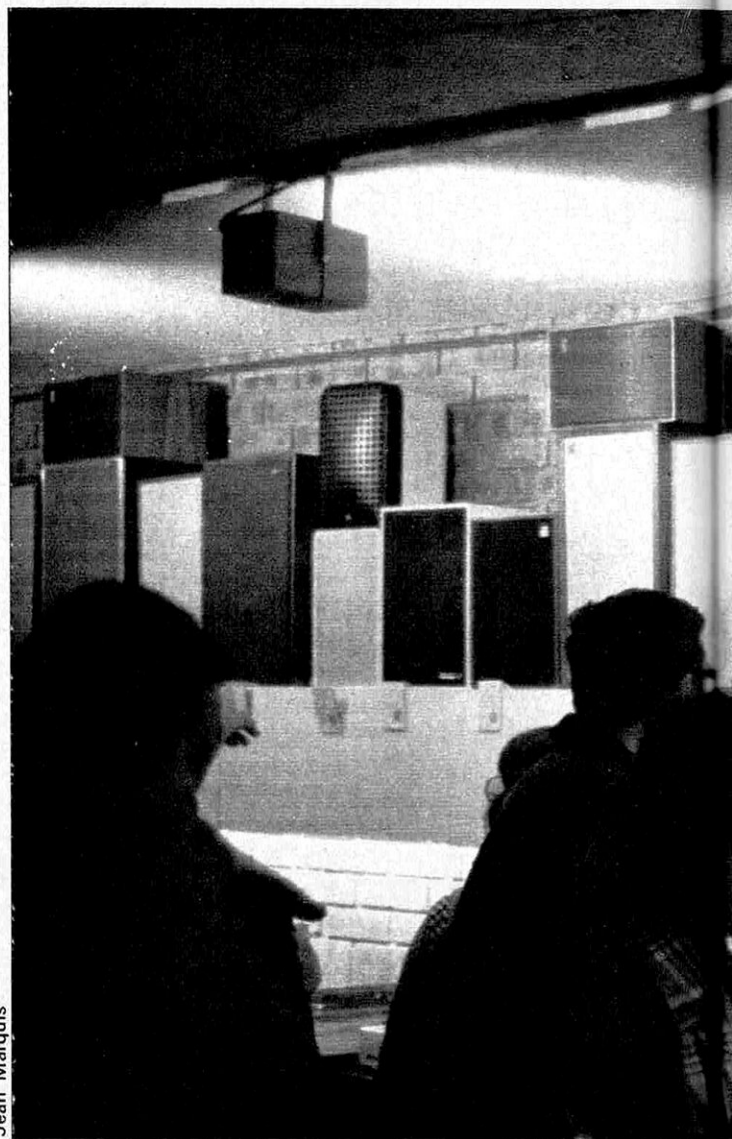
Enceinte à cavité anti-résonante, sans évent. Le coffret d'une telle enceinte est entièrement clos et partagé en deux ou plusieurs cavités. Le principe de fonctionnement est basé sur l'amortissement de la fréquence de résonance du H.P., sans récupération de l'onde arrière.

Si les dimensions de la cavité et de l'ouverture de communication sont bien choisies, les mouvements internes de l'air créent une pression instantanée sur la face arrière du cône du woofer, qui freine les mouvements de celui-ci justement dans la zone de résonance. Ceci entraîne une diminution de la distorsion non linéaire.

L'amélioration de la reproduction des basses se fait toutefois au détriment de l'amplitude (puisque une grande partie de l'énergie est dissipée par les mouvements de l'air dans les cavités résonantes). Par ailleurs, le risque de vibrations indésirables des parois du coffret est augmenté.



Enceinte close à radiateur passif.



Jean Marquis

Il en découle que l'ébénisterie doit être particulièrement rigide. C'est une des raisons pour laquelle la marque Elipson construit ce type d'enceinte en forme de sphère, dans un matériau spécial inerte aux vibrations.

Enceinte à radiateur passif. Dans ce type d'enceinte à coffret clos, on utilise, pour amortir la fréquence de résonance du H.P. principal, un second H.P. identique au premier monté sur le panneau avant de l'enceinte. Mais le deuxième H.P. ne reçoit aucune modulation, d'où son nom de radiateur passif. Il est couplé au premier uniquement par voie acoustique, par l'intérieur hermétiquement clos du coffret.

La fréquence de résonance des deux radiateurs sonores doit être aussi basse que possible et absolument identique. Le volume du coffret est moins critique du point de vue adaptation à la fréquence de résonance. Il reste que plus on désire descendre en fréquence, plus le volume doit être grand, car lorsque le ou les H.P. sont montés dans des enceintes closes, leur fréquence de résonance en est augmentée d'une manière importante (jusqu'à deux fois et plus selon le volume).



Lorsque la fréquence du son augmente au-delà d'une certaine valeur critique, qui dépend des dimensions du coffret et des H.P., le couplage acoustique entre les deux radiateurs perd son efficacité. Il n'intervient pratiquement plus au-dessus de 800- 1 000 Hz. Cette méthode n'est donc utilisable que pour les fréquences basses. Pour élargir le spectre sonore, il est possible d'utiliser d'autres H.P.

Si le radiateur passif est un H.P. identique à l'autre (qui reçoit le courant modulé de l'amplificateur), la bobine mobile peut être court-circuitée, ce qui améliore encore la courbe de réponse, semblable à celle des enceintes bass-reflex. Pour des raisons de prix de revient, les constructeurs préfèrent utiliser un radiateur passif de même caractéristiques que le H.P. principal, mais dépourvu de la bobine mobile et de la culasse qui renferme l'aimant.

A la fréquence de résonance, le radiateur passif vibre mécaniquement en phase avec le H.P. actif et les deux ondes sonores s'ajoutent. En même temps, le H.P. actif est mieux chargé, diminuant ainsi la distorsion et élargissant la bande passante vers les fréquences basses.

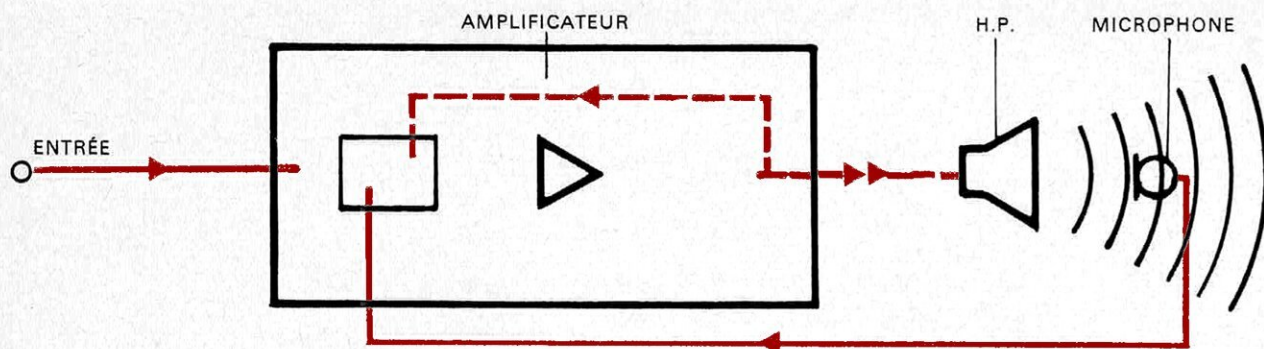
Par rapport au bass-reflex, l'avantage de ce système est un moindre dérèglement dans le temps, puisque les suspensions élastiques des diaphragmes vieillissent en même temps. Ainsi la fréquence de résonance, quoique modifiée, reste la même pour le H.P. actif et le radiateur passif. Les matériaux absorbants à l'intérieur du coffret évitent ou diminuent les résonances néfastes des parois du coffret, moins délicates à réaliser que celles du bass-reflex.

Les enceintes asservies

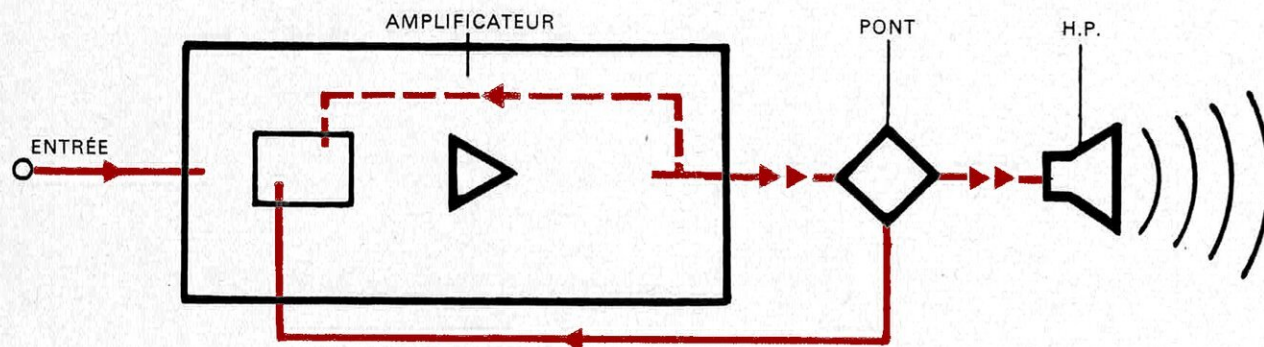
Dans toutes les enceintes dites « traditionnelles », que nous avons examinées, le « travail » des H.P. n'est pas suivi. Au-delà de l'amplificateur, on fait confiance à l'enceinte.

Le principe des enceintes asservies est simple et connu depuis longtemps. Il consiste à vérifier, par le contrôle des mouvements du diaphragme, l'exactitude du son produit, puis à rectifier ces mouvements.

Comme nous l'avons vu plus haut, la principale difficulté avec les enceintes, c'est la reproduction des fréquences basses. En conséquence,



Une solution théorique pour la correction des défauts du H.P.



Asservissement par pont de vitesse pour la correction du H.P.

on utilise le système de contrôle uniquement sur le H.P. des graves. La qualité des H.P. modernes des médium et des aigus suffit pour obtenir un son correct.

Pour mieux comprendre le principe même de l'asservissement, prenons comme exemple le schéma en haut. Le micro capte le son émis par le H.P. et le transforme en courant électrique fidèle au son capté. En comparant ce courant avec celui qui est à l'origine du son, on peut voir s'il y a une distorsion acoustique. L'électronique permet ainsi de déduire instantanément et automatiquement une tension d'erreur qui, utilisée en rétro-action (contre-réaction) déforme le courant initial audiofréquence exactement dans le sens contraire à la déformation introduite par le H.P. Ainsi, la distorsion acoustique de l'enceinte est annulée.

Dans la pratique, on n'utilise pas un micro-

phone, qui risquerait d'introduire ses propres défauts et de capter les sons réverbérés dans le local d'écoute (sans parler des difficultés dues au déphasage, qui dépend de la fréquence et de la distance à laquelle le microphone est placé).

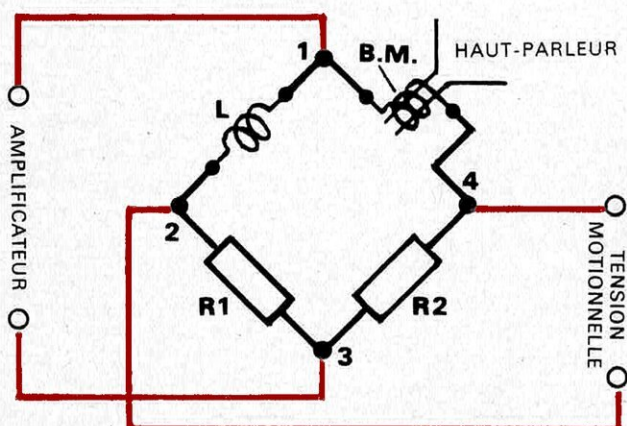
Dans l'asservissement dit par « pont de vitesse », utilisé actuellement par plusieurs marques comme Servo-Sound et 3 A, on utilise généralement, à la place du microphone, la bobine mobile du H.P. ; elle sert en même temps de « moteur » pour faire vibrer le diaphragme du H.P. Aux bornes de la bobine en mouvement, apparaît une tension « motionnelle » (de mouvement) ou force contre-électromotrice qui est l'image, au moins en théorie, des mouvements de la membrane. Si cette tension n'est pas conforme au courant initial délivré par l'amplificateur, c'est parce que les vibrations de la membrane du H.P. ne reproduisent pas exactement le son représenté par ce courant.

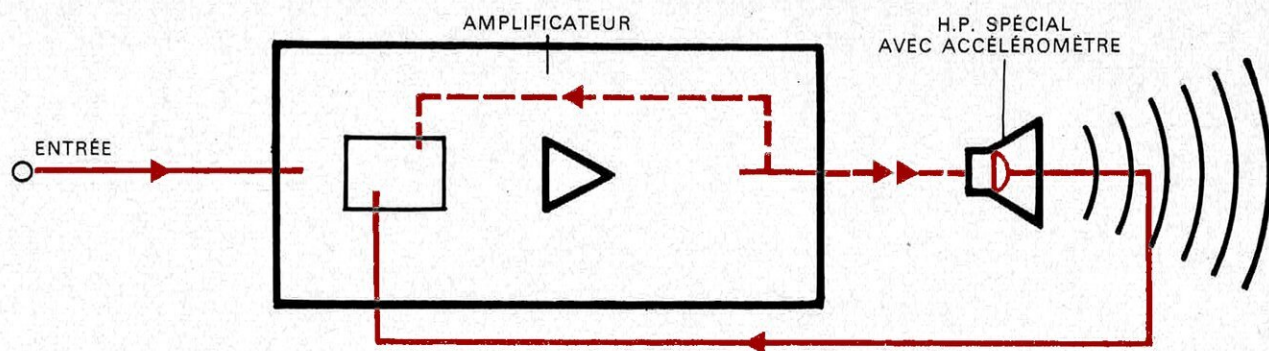
Pour pouvoir disposer de la tension motionnelle, il est nécessaire de la séparer du courant audiofréquence en provenance de l'amplificateur. On branche alors le H.P. dans un « pont » entre les points 1 et 4, tel qu'il est indiqué dans la figure ci-contre.

Entre les points 1 et 2, on trouve une bobine L, dont les caractéristiques sont identiques à celles de la bobine mobile BM, sauf qu'elle est rigidement fixée et qu'à ses bornes, il n'y a pas de tension motionnelle. En pratique, le champ magnétique (semblable à celui de la bobine motrice) est supprimé pour la bobine L.

La sortie de l'amplificateur est branchée entre les points 1 et 3, et le courant audiofréquence de l'amplificateur traverse les deux branches du

Détail du « pont » utilisable pour le contrôle d'un H.P. Il crée une certaine perte de puissance.





Dans le système Philips, on mesure les accélérations de la membrane.

pont. Ce courant n'apparaît pas entre les points 2 et 4, où on trouve uniquement la tension motionnelle qui correspond au son produit par le H.P.

La tension de mouvement ainsi obtenue rend compte de la distorsion acoustique et de la suraccentuation des notes graves dues à la résonance propre du système vibrant du H.P. Cette tension est proportionnelle à la vitesse instantanée de déplacement de la bobine dans l'entrefer et du diaphragme du H.P., puisque la bobine et le diaphragme sont rigidement fixés ensemble. En réinjectant la tension motionnelle dans l'amplificateur, en opposition de phase et à un niveau convenable, on peut créer une rétro-action et corriger ainsi les défauts propres du H.P.

Quelles sont les difficultés inhérentes à ce système d'asservissement ?

La tension motionnelle est tributaire de l'homogénéité du champ magnétique dans l'entrefer. Il en découle qu'elle risque de ne pas représenter exactement les mouvements de l'ensemble bobine mobile-diaphragme. D'autre part, les vibrations propres du saladier et de la culasse du H.P., qui renferme le champ magnétique sur lequel la tension motionnelle prend appui, peuvent modifier cette dernière et faire apparaître des fréquences de résonance renforcées.

Pour que la contre-réaction soit efficace, la tension utilisée doit être exactement à l'inverse (en opposition de phase) de la tension audiofréquence initiale. Tel n'est pas dans le cas dans l'asservissement par la vitesse, de par son principe même, justement à l'endroit où on cherche à corriger le plus, c'est-à-dire à la fréquence de résonance du H.P. Ceci crée une complication supplémentaire de rattrapage de phase.

Une partie de la puissance délivrée par l'amplificateur est perdue dans les résistances du pont, et la tension motionnelle est également atténuée dans le pont.

Au total, l'asservissement par la vitesse apporte certainement une amélioration de la reproduction sonore. Toutefois, les difficultés énumérées plus haut sont difficiles à surmonter sans augmenter notablement le prix de revient. Des problèmes concernant la stabilité de fonctionnement dans le temps peuvent également se poser.

Voyons maintenant le système d'asservisse-

ment élaboré par Philips et apparu sur le marché en 1972. Il s'agit d'une nouvelle conception basée, non pas sur la mesure de la vitesse, mais des accélérations. On peut démontrer que ce système a de nombreux avantages par rapport à l'asservissement traditionnel. La tension motionnelle utilisée pour la rétro-action (contre-réaction) n'est plus tributaire du champ magnétique de l'entrefer. Il s'ensuit que les vibrations de la culasse du H.P. (renfermant le champ magnétique) n'a aucune influence sur cette tension.

A la fréquence de résonance du H.P., la tension motionnelle déduite des accélérations est exactement en opposition de phase par rapport au courant initial audiofréquence, d'où infiniment plus de facilité pour l'établissement de la contre-réaction. Pour la mesure des accélérations, on installe, au sommet du cône du H.P., un accéléromètre qui transforme les accélérations des mouvements du diaphragme en tension électrique. Il se compose d'un cristal piezoélectrique, d'un transistor à effet de champ et de deux résistances.

L'enceinte est équipée de 3 H.P. et de deux amplificateurs. La tension motionnelle (ou cinétique) issue de l'accéléromètre est envoyée dans un circuit comparateur-mélangeur situé dans l'amplificateur de 40 W. On obtient ainsi la rétro-action cinétique qui contrôle les mouvements du diaphragme du H.P. des graves.

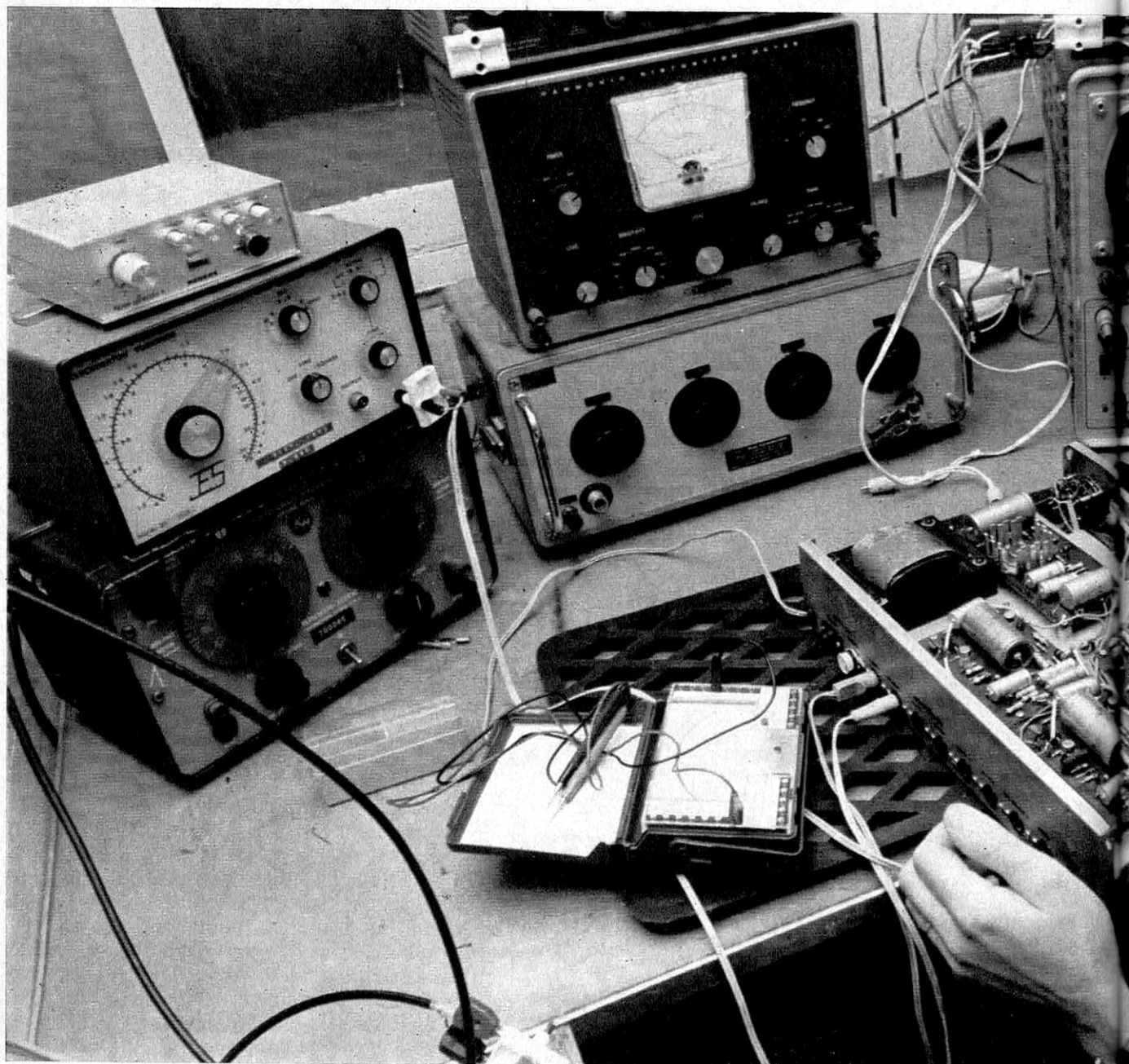
L'adaptation des impédances entre les H.P. et la sortie des amplificateurs est faite à demeure une fois pour toutes. Il est impossible de commettre des erreurs d'adaptation amplificateur-enceinte, et les risques dus à un court-circuit accidentel, qui peut endommager les transistors de puissance, sont ainsi évités.

L'enceinte ne possède pas de boutons de réglage de volume-contrôle, tonalité, etc. Pour la faire fonctionner, il est nécessaire d'utiliser un appareil du genre préamplificateur, sans étage de sortie de puissance, muni de tous les boutons de réglage. A défaut, on peut lui substituer un amplificateur classique. Dans ce cas, une faible partie seulement de la puissance de sortie de l'amplificateur est utilisée et, en général, la distorsion se trouve diminuée.

Alexandre ORAVECZ

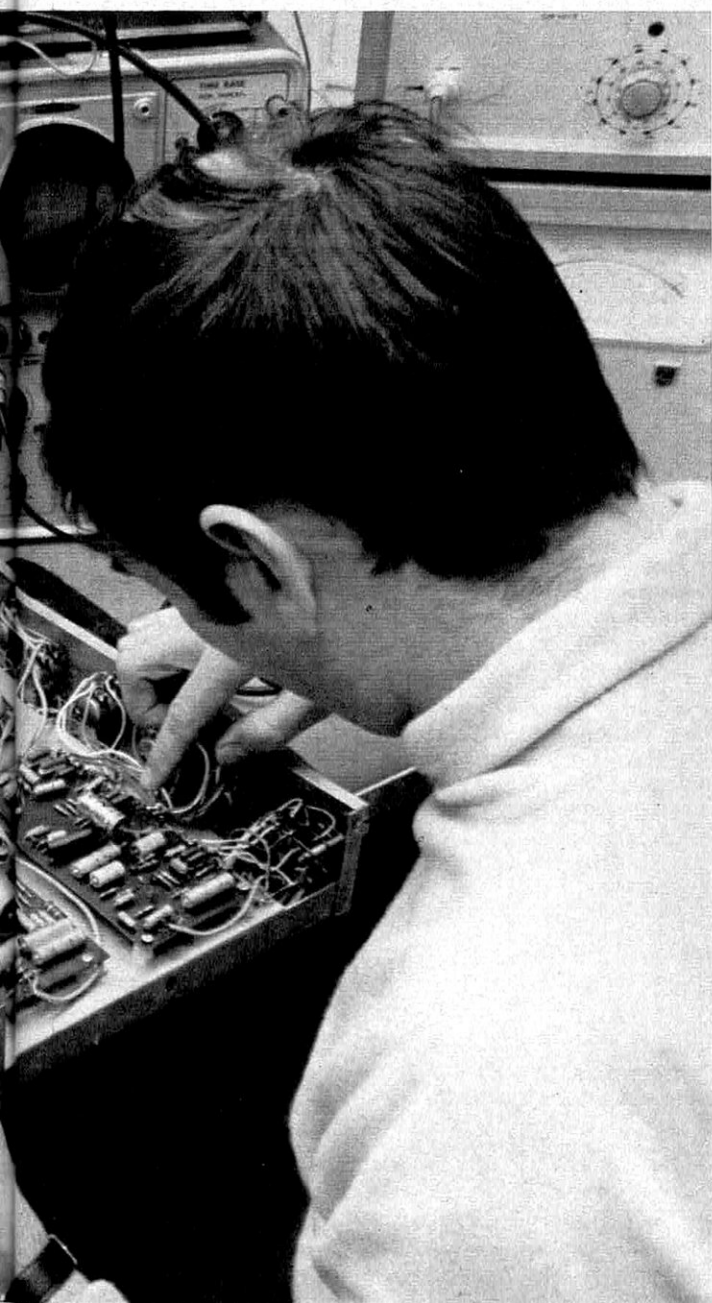
HI-FI ET APRÈS-VENTE

*Le système de garantie
associé à la
commercialisation du
matériel Hi-Fi assure en
principe une prise en charge
efficace du matériel en cas*



de panne. Mais la situation est compliquée du fait des maillons plus ou moins nombreux entre le revendeur — généralement incompetent en matières de

réparations — et le constructeur (pour un matériel importé à 90% en France). Le transport fait à lui seul courir des risques importants aux appareils.



techniciens capables d'assurer les réparations.

● La première question que l'on est en droit de se poser à propos de la Hi-Fi et de son service après-vente est de savoir pourquoi les appareils tombent en panne.

Il faut noter, à ce propos, qu'un ampli-tuner ne comporte pas moins de 1 500 composants élémentaires différents. Si certains sont contrôlés avant livraison au constructeur de matériel Hi-Fi, l'opération, pour d'autres, n'est pas possible ou n'est pas suffisante. Et les opérations ultérieures, transport, manipulation, montage des composants, peuvent être sources de détériorations ou d'erreurs de positionnement.

Ces risques conduisent les constructeurs à procéder, sur chaque appareil en cours ou en fin de montage, à de multiples vérifications. On y ajoute des contrôles par prélèvement avec analyse complète des performances. Tout industriel soucieux de préserver une bonne qualité et le renom de sa marque sait qu'il faut affecter, dans les différents postes, autant de personnel au contrôle qu'à la fabrication proprement dite.

Malgré toutes ces précautions, et à cause du grand nombre de composants, de soudures, et surtout de pièces mécaniques, la panne est toujours possible. La mécanique, en particulier, est souvent la « bête noire » des techniciens. Dans un appareil électronique, ce qui lâche presque toujours, c'est un commutateur, un potentiomètre ou un contact.

N'oublions pas le transport d'un appareil autrement que dans la voiture de son acquéreur. Il provoque presque à coup sûr des lésions irréversibles qui apparaîtront soit immédiatement, soit plus tard. Nous en reparlerons plus loin.

En contre-partie de ce tableau un peu sombre, nous devons remarquer qu'un appareil installé définitivement et ayant fonctionné correctement pendant plusieurs heures n'a pratiquement aucune chance de tomber en panne. Pour cela, il faudra attendre l'usure des pièces mécaniques. Ce qui demande souvent plusieurs années.

Deux catégories de pannes guettent donc le matériel : le défaut congénital, qui se manifeste immédiatement, et l'usure.

La première catégorie est la plus irritante, parce qu'elle apparaît injustifiée et prive l'amateur d'un matériel neuf qui a souvent coûté très cher. Nous ne parlerons guère de la seconde, l'usure et ses conséquences. C'est un mal normal qui peut, au moins, être retardé. A condition, bien entendu, qu'on y mette le prix.

Pour leurs clients, les constructeurs et quelquefois les revendeurs prennent une assurance contre ce genre de risques. C'est le contrat de garantie, dont nous examinerons les modalités.

Comme la puissance de sortie ou la bande passante, la garantie offerte par le constructeur est une caractéristique de l'appareil que l'on achète. Elle peut être de six mois ou un an, porter sur les pièces et la main-d'œuvre ou sur l'un des deux. Un contrat de garantie doit être joint à l'appareil. Dans le cas contraire, il est prudent de se faire préciser ce sur quoi on peut compter et, éventuellement, le faire mentionner sur la facture.

Un certificat de garantie en bonne et due forme engage réellement la firme à réparer l'appareil dans les conditions mentionnées. Il doit évidemment porter le lieu et la date de l'achat (1).

Remonter la filière

L'appareil qui provoque des ennuis à son acquéreur lui est parvenu, depuis l'usine où il a été fabriqué, par un certain canal qu'il va falloir remonter en totalité ou en partie pour que la réparation soit effectuée. Voyons un peu en détail de quoi est faite la chaîne d'intermédiaires.

Pour 90 % au moins du matériel vendu en France, la firme constructrice est implantée à l'étranger. Soit en Europe, soit aux Etats-Unis, soit en Extrême-Orient.

Du point de vue du constructeur, un retour en usine est certainement la meilleure solution. C'est une manière de suivre ses fabrications, d'éliminer les fragilités ou les vices de construction d'une série. A défaut de retour, le constructeur devra se contenter des rapports plus ou moins précis de l'intermédiaire qui s'est occupé de la réparation.

Qui est cet intermédiaire ? Lorsque la firme est installée à l'étranger, elle peut être représentée en France de deux façons différentes. Soit par une filiale, soit par un représentant dûment accrédité. Mais, dans ce dernier cas, il s'agit pour le constructeur d'un client qu'il faut ménager. Si les contrats de représentation des marques étrangères prévoient souvent les obli-

AUTO-APRÈS-VENTE ?

Le service après vente tel que nous le concevons a deux exigences : des instruments de mesure ; un certain niveau technique. Le chiffre d'affaires et le prix élevé du matériel haute-fidélité devraient permettre à toutes les entreprises ayant une activité dans ce domaine de disposer d'un laboratoire de dépannage.

Nous avons fait, à ce propos, une étude sur la valeur de quelques instruments de mesure. Nous avons trouvé chez Heathkit/Schlumberger des appareils en kit à des prix tout à fait raisonnables. Au point que leur acquisition ne peut qu'être conseillée à beaucoup d'amateurs. Il n'est nul besoin d'être technicien pour monter un kit et, d'ailleurs, pour un léger supplément de prix, la firme vend les appareils en ordre de marche.

Nous conseillons les appareils suivants :

● *générateur basse-fréquence (IG 72) de 10 Hz à 100 kHz, prix 560 F. Le taux de distorsion harmonique est bien inférieur à 0,1 %, le niveau de sortie réglable par bonds de 10 dB de 3 mV à 10 volts.*

● *distorsiomètre harmonique (IM58), prix 715 F, permettant des mesures de distorsion de 0,05 %.*

● *analyseur basse-fréquence (IM48) ayant quatre fonctions : millivoltmètre alternatif de 10 mV à 300 V ; wattmètre de 0,15 mW à 150 W ; décibelmètre de -40 dB à +50 dB ; distorsiomètre d'intermodulation de 0,3 % à 100 %, prix 850 F.*

● *oscilloscope (IO 4560), bande passante : du courant continu à 5 MHz, prix 950 F ; sensibilité 100 mV par cm.*

● *générateur FM stéréo (IG 37), prix 780 F, délivrant un signal stéréo composite (à basse fréquence) ou un signal haute-fréquence à 100 MHz, prix 780 F. Cet appareil permet le réglage et la vérification des décodeurs et des tuners.*

Le prix total de ces équipements est de 3 855 F TTC. La TVA, récupérable, étant de 20 %, l'investissement pour un commerçant est donc de 3 284 F. A peine le prix d'un bon ampli-tuner.

Nous avons donné toutes ces précisions sur les possibilités et les prix, car nous savons que beaucoup d'amateurs seraient heureux de pouvoir connaître les possibilités exactes des matériels qu'ils utilisent. D'ailleurs, certains constructeurs de matériel haute-fidélité équipent déjà leurs amplificateurs ou leurs tuners d'un oscil-

gations qu'a l'importateur d'assurer la garantie, il est toujours délicat pour la marque de rappeler à son client qu'il manque à ses devoirs.

Ceci tend à faire admettre que la firme qui a installé une filiale en France offre de meilleures services que celle qui est représentée par un importateur. Mais certaines exceptions confirment heureusement la règle. Nous connaissons quelques (rares) importateurs aussi bien outillés pour les mesures que le constructeur, et dont l'action a permis l'amélioration du matériel à la base.

En ce qui concerne le système des filiales, nous

(1) Certains constructeurs prévoient un volet détachable à leur retourner. Les renseignements qu'il portera sont précieux pour établir des statistiques et améliorer le service que la firme peut fournir par l'intermédiaire de ses revendeurs.



Oscilloscope 10 4560



Générateur BF IG 72

loscope incorporé. La visualisation du signal donne immédiatement une connaissance assez précise des réglages et des accords.

La précision des appareils dont nous venons de parler est largement suffisante pour un amateur ou un dépanneur. Et, même, nous savons que ces appareils sont utilisés dans de grandes entreprises pour des contrôles intermédiaires dans les chaînes de fabrication.

Mais, pour les revendeurs, le problème n'est pas seulement d'argent, ni de savoir contrôler un appareil. Il faut avoir un minimum de connaissances pour dépanner le matériel. Or, et nous le regrettons, aucun CAP d'électronique n'est exigé pour vendre du matériel Hi-Fi. Par contre, pour faire une coupe de cheveux à 12 ou 15 F, il faut un CAP.

n'avons pas envisagé les démultiplications particulières, avec filiale en Belgique et sous-filiale en France. Dans ce cas, les responsabilités de l'après-vente sont du ressort de cette dernière.

Dernier intermédiaire, le revendeur. Il assure dans les deux sens les transmissions entre le client et le fournisseur. Le retour en magasin d'un matériel en panne est toujours pour lui source de complications. D'autant qu'il a affaire à un client généralement mécontent. Comme le revendeur choisit les marques qu'il distribue, il aura tendance à retenir celles qui lui provoquent le moins d'ennuis.

La règle générale pour l'amateur est, lorsque la chaîne Hi-Fi est en panne, d'essayer de déterminer le maillon en cause et de le porter chez le revendeur. C'est qu'il n'existe pas, comme pour les récepteurs TV, de dépanneur susceptible de se rendre à domicile. Il y a plusieurs causes à cela, mais la principale, rarement avouée, est que le revendeur ne se charge qu'exceptionnellement des réparations. Il n'a pas les techniciens capables de les faire et son rôle se limitera à enregistrer le matériel, à l'envoyer en « amont » et à obtenir les meilleurs délais pour la réparation de la part du constructeur, de la filiale ou de l'importateur.

Il faut noter toutefois qu'en province, les revendeurs sont souvent conduits à réparer eux-mêmes, à cause des difficultés du voyage de retour de l'appareil dépanné, qui créent de nouveaux risques de détérioration.

Dans tous les cas, le retour du matériel à l'échelon de l'importateur ou de la filiale générale présente des inconvénients. Manipulations et transport ajoutent des risques inutiles. Et les symptômes de la panne sont transmis par l'intermédiaire de fiches — trop laconiques — qui souvent se perdent en route. Quant au client, il ne sait pas toujours de quoi souffrait son appareil et pourra à l'avenir continuer à commettre la faute d'utilisation à l'origine de la première panne...

Cette analyse rapide des modalités d'application de la garantie suggère une chose. Qu'il est important d'être renseigné sur la solidité des intermédiaires qui vous séparent du constructeur. Que le revendeur à qui vous étiez fidèle ferme boutique ou que l'importateur de votre matériel favori fasse faillite, et vous voilà sans recours, malgré les promesses du certificat de garantie.

Il faudra alors trouver par ses propres moyens un technicien, mais aussi se procurer les pièces détachées nécessaires. Dans le cas, à vrai dire extrême, d'un constructeur japonais, il faudra lui écrire en anglais et patienter six mois avant de recevoir un simple commutateur.

**

En matière de service après-vente, on ne peut certes se prémunir contre tous les risques. Mais quelques précautions élémentaires s'imposent. S'assurer par exemple que le revendeur n'est pas installé d'hier pour disparaître demain. Voir si la marque qui vous attire bénéficie d'une cote favorable auprès des revues spécialisées. Un mot encore à propos des « révisions périodiques ». Celles-ci ne s'imposent guère et risquent même de faire plus de mal que de bien à cause du transport et des manipulations qu'elles impliquent. Elles peuvent être utiles dans le cas d'appareils à forte dominante mécanique tels que les magnétophones à bobines.

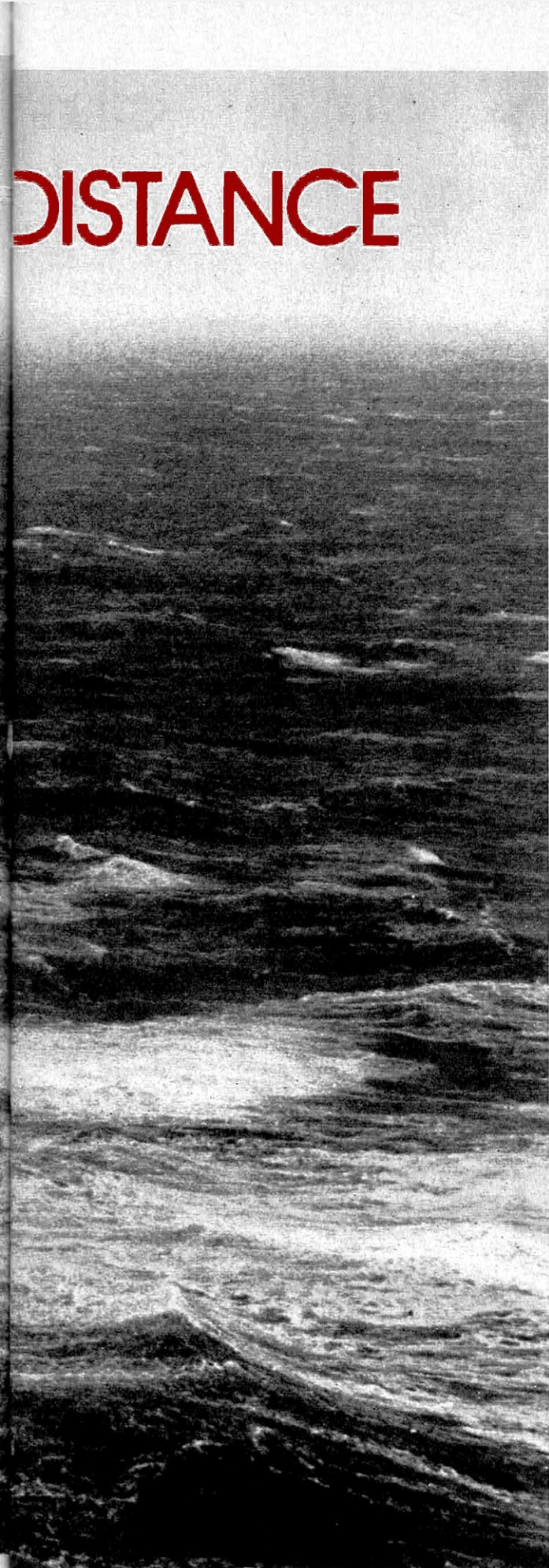
Yves MARZIO

En marge de la Hi-Fi

LES RÉCEPTEURS LONGUE-



DISTANCE



*Si le tuner MF
comble les mélomanes
par la pureté
des transmissions
qu'il assure,
il ne leur permet pas,
par contre,
de capter la musique
provenant de toutes
les stations de radio
du monde.
Pourtant,
pour un amateur de musique,
il est toujours fascinant
de pouvoir écouter
une station lointaine
et vivre ainsi en direct
un concert
retransmis de New York
ou des chants
diffusés de Pékin.
Pour recevoir
de telles émissions
à longue distance,
des appareils
d'un type particulier
sont nécessaires.*

● Pour le grand public, ces récepteurs sont essentiellement des postes portatifs à transistors conçus pour capter les ondes courtes utilisées par les diverses stations mondiales, c'est-à-dire entre 5 et 30 MHz. Ces récepteurs ne sont d'ailleurs pas limités à cette plage d'ondes. Ils captent aussi les petites et les grandes ondes, ainsi que la modulation de fréquence, mais, bien entendu, sur des distances plus courtes, caractéristiques de ces gammes.

En pratique, en raison de l'éventail des gammes d'ondes pour lesquelles ils sont construits, ces postes peuvent non seulement recevoir des stations aux quatre coins du monde, mais aussi les émissions des radios amateurs, des satellites, des avions et des navires, ainsi que celles pour la navigation de plaisance ou en haute mer.

Les récepteurs du marché n'ont évidemment pas tous les mêmes caractéristiques ni les mêmes possibilités. Leurs prix sont d'ailleurs très différents, allant de moins de 1 000 F à 3 000 F et parfois plus. Tous ne couvrent donc pas la totalité des bandes radio. Ceux qui le font ne peuvent d'ailleurs pas capter l'ensemble des émissions du monde, ni même d'une région, car toutes les fréquences n'ont pas la même portée.

Ces réserves étant faites, on peut schématiser comme suit la répartition des gammes d'ondes dans lesquelles se situent les émissions que peuvent capter les récepteurs radio à longue distance (cette répartition est le fait de l'Union internationale des télécommunications) :

- Bande de 160 kHz et au-dessous : émissions de localisation des navires, des avions ; communications radiotélégraphiques ;
- 160 à 275 kHz : radiodiffusion grandes ondes ;
- 275 à 525 kHz : ondes moyennes pour radio-navigation ; la bande à 500 kHz est destinée aux signaux de détresse en mer ;
- 525 à 1 605 kHz : radiodiffusion petites ondes ;
- 1 600 à 4 400 kHz : trafics chalutiers, météo, aviation ;
- 2 300 à 5 060 kHz : bandes dites « tropicales » (favorables aux pays chauds) utilisées par les radios des pays africains ;
- 3 500 à 3 800 kHz : radios amateurs ;
- 3 400 à 4 000 kHz : trafic de gendarmerie ;
- 5 900 à 26 100 kHz : radiodiffusion ondes courtes ;
- 7 000 à 7 100 kHz : radios amateurs ;
- 8 800 kHz : aviation ;
- 14 000 à 14 350 kHz : radios amateurs ;
- 20 MHz : communications spatiales soviétiques ;
- 21 à 21,5 MHz et 28 à 29,7 MHz : radios amateurs ;
- 27 MHz : radiocommandes ;
- 21,9 à 27,4 MHz : walkie-talkie en France ;
- 30 à 40 MHz : police ;
- 32 à 35 MHz : SNCF ;
- 40 MHz : satellites soviétiques ;
- 41 à 68 MHz : télévision ;

RÉCEP

CONSTRUC- TEUR ET TYPE	OC	PO
ASTRAD SOLAR	3 gammes couvrant de 5,65 à 17,90 MHz	525 à 1 605 kHz
GRUNDIG SATELLIT 2000	18 gammes couvrant de 1,6 à 30 MHz (dont 9 bandes étalées et 2 bandes radio-amateurs) ; en option : bloc BLU	Oui
HITACHI KH 5000	15 gammes couvrant de 1,6 à 31,6 MHz ; bandes étalées ; réception en BLU	530 à 1 605 kHz
NORMENDE GALAXIE MESA 9000	14 gammes ; bandes étalées ; étage haute-fréquence	Oui
RIGA 104	6 gammes couvrant de 5,90 à 17,90 MHz	525 à 1 605 kHz
SABA RCR 364	2 gammes couvrant de 5,8 à 15,5 MHz	510 à 1 630 kHz
SCHAUB- LORENZ-ITT, TOURING ELECTRONIC 105	4 gammes	Oui
SONOLOR- SKIPPER	4 gammes dont 2 bandes étalées ; fréquence de 3,1 à 24 MHz	Oui
SONY CRF 5090	5 gammes couvrant de 1,6 à 26 MHz	530 à 1 605 kHz
SONY CRF 160	10 gammes couvrant de 1,6 à 26,1 MHz	530 à 1 605 kHz

TEURS RADIO LONGUE-DISTANCE

GO	FM	PUISSANCE DE SORTIE	DIMENSIONS ET POIDS	AUTRES CARACTÉRISTIQUES	PRIX MOYEN (F)
150-408 kHz	87,5-104 MHz'; avec CAF	1 W	38 × 28 × 12 cm 5,5 kg	Alimentation: 8 piles 1,5 V ou batterie 12 V, 2 haut-parleurs; antenne télescopique; cadre ferrite; prise antenne extérieure AM-FM; sorties haut-parleur, casque et magnétophone; graves et aigus séparés	550
élargie à 420 kHz	Bloc spécial avec syntonisation; CAF commutable	7 W sur le secteur	46 × 27 × 12 cm 6,3 kg	Alimentation: 6 piles 1,5 V, batterie ou secteur; 2 haut-parleurs; antenne télescopique; cadre ferrite; prises antennes extérieures et auto; graves et aigus séparés; commutation de la largeur de bande; sortie haut-parleur ou casque	2 114
150-400 kHz	76-108 MHz avec CAF	4 W	54 × 35 × 21 cm 18,5 kg	Réceptions VHF de 142 à 147 MHz, radio-aviation de 108 à 138 MHz; alimentation: piles, secteur, batterie; 2 antennes FM-VHF; 2 cadres ferrite; antenne OC et sortie antenne extérieure; sorties haut-parleur et casque	7 700
Oui	Oui, en stéréo; stations pré-réglées	2 × 3 W	49 × 27 × 12 cm	Alimentation mixte piles et secteur; toutes antennes AM-FM et antenne extérieure	2 790
150-408 kHz	87,5 à 108 MHz; 3 stations pré-réglées; avec CAF	2 W sur le secteur	39 × 24 × 13 cm 6,3 kg	Alimentation: 6 piles 1,5 V, batterie 12 V ou secteur; antenne télescopique pour OC et FM; antenne ferrite pour PO-GO; 2 sorties antennes extérieures; prises P.U., magnétophone, haut-parleur extérieur et casque; graves et aigus séparés; largeur de bande commutable	700
145-260 kHz	87,5-104 MHz	4 W	34 × 22 × 8 cm 3,5 kg	Alimentation: 6 piles 1,5 V, batterie 9 V ou secteur; antenne télescopique OC-FM et cadre ferrite PO-GO; magnétophone à cassette incorporé; sortie casque; entrée micro et magnétophone	990
Oui	Oui avec 2 touches pré-réglées; avec CAF	4 W	38 × 21 × 9 cm 4 kg	Alimentation piles et secteur; antenne télescopique OC-FM; graves et aigus séparés; sorties haut-parleur et casque, P.U. et magnétophone	750
Oui	Non	1,7 W sur le secteur	30 × 19 × 8,8 cm	Alimentation piles et secteur; antenne télescopique OC; contrôle de tonalité; prises: antenne auto, haut-parleur et magnétophone	260
150-400 kHz	87,5-108 MHz	2,7 W maximum	34 × 23 × 16 cm	Fréquences aviation: 108-136 MHz; alimentation: piles, batterie 12 V ou secteur; antenne télescopique; cadre ferrite	2 000
150-400 kHz	87,5-108 MHz	2,3 W maximum	34 × 27 × 14 cm	Alimentation: piles, batterie 9 V et secteur; sorties haut-parleur et casque; antenne télescopique	2 800

- de 68 à 87,5 MHz : radiotéléphone et radio-taxis ;
- 68 à 100 MHz : radio en modulation de fréquence en France ;
- 100 à 108 MHz : radiodiffusion en modulation de fréquence aux USA, en Asie et dans quelques pays d'Europe ;
- 108 MHz : satellites américains.

Les particularités techniques

Les postes destinés à la réception des émissions lointaines comportent des circuits particuliers assurant les séparations et filtrages destinés à isoler les stations et à réduire ou éliminer les bruits parasites. Le nombre des composants (transistors à effet de champ, circuits intégrés...) est toujours élevé. Ainsi, sur l'Hitachi KH 5000, on compte 5 circuits intégrés, 54 transistors, 26 diodes et divers autres semiconducteurs.

Ces postes comportent avant tout un bloc spécial pour ondes courtes. Ils possèdent toujours un rotacteur capable de couvrir plusieurs plages de fréquences. Certains postes ont de 15 à 19 gammes d'ondes courtes repérées sur autant de cadrans différents et s'étendant entre 1,6 et 30 MHz. Parmi celles-ci, un certain nombre peuvent être étalées sur toute la largeur du cadran (système loupe).

En ondes courtes, en effet, les stations sont si proches les unes des autres qu'il suffit d'une légère pression sur la commande de l'accord ou d'un faible dérèglement des circuits pour changer de programme. Par un dispositif de démultiplication, on permet, dans le système loupe, une rotation plus longue au bouton de commande et une plus longue course à l'aiguille du cadran. Ceci autorise une bonne séparation des émetteurs, facilite leur repérage et maintient l'accord.

Sur certains postes (Grundig Satellit 2000 notamment), des composants particuliers (les trimmers) sont ajoutés pour permettre un alignement séparé pour chacune des bandes d'ondes étalées. Cet étalement spécifique est en outre un peu accru et la plage de recouvrement des stations se trouve diminuée. Dans le cas du Satellit 2000, il a été possible, ainsi, d'élargir de moitié les bandes radiodiffusion ondes courtes et les bandes radio-amateur situées à l'intérieur.

On augmente également la sélectivité en réduisant la largeur de la bande passante avec un résonateur céramique. Cela permet, lorsque les stations sont très proches les unes des autres, de les séparer plus facilement et, ainsi, de mieux supprimer les perturbations. Cette réduction de la bande passante est généralement commutable pour passer de la position « étroite » à une position « large ». Dans ce dernier cas, la largeur de la bande passante offre une meilleure fidélité de la reproduction musicale. La position large s'utilise lorsque les conditions sont favorables, notamment avec les émetteurs puissants.

La qualité de la réception dépend encore de la qualité de l'antenne. Les postes pour réception lointaine comportent toujours des systèmes très

RÉCEP

CONSTRUC- TEUR ET TYPE	OC	PO
SONY CRF 220	19 gammes couvrant de 1,6 à 29,8 MHz	530 à 1 605 kHz
TELEFUNKEN PARTNER INTERNATIONAL 101	7 gammes couvrant de 1,6 à 17,9 MHz ; bandes étalées	Oui
VEF 206	6 gammes couvrant de 2,5 à 21,75 MHz	525 à 1 605 kHz
ZENITH TRANS- OCEANIC	8 gammes couvrant de 1,6 à 22,4 MHz ; bandes étalées	540 à 1 600 kHz

étudiés avec, en outre, la possibilité de brancher des antennes extérieures (distinctes AM-FM, et même auto). Un trimmer permet d'adapter une antenne extérieure coaxiale à l'entrée du tuner HF, ce qui assure une bonne réception avec un émetteur à champ faible (cas du Grundig Satellit 2000 ou de l'Hitachi KH 5000).

Les plus complets des récepteurs pour longue distance comportent aussi un bloc pour capter les émissions en bande latérale unique (B.L.U. ou, selon la terminologie américaine, S.S.B.). De quoi s'agit-il ? Les signaux modulés en amplitude (c'est le cas des OC-PO-GO) comportent essentiellement trois fréquences : l'onde porteuse, dont l'amplitude est constante, et des bandes latérales inférieures et supérieures. Chacune de ces bandes latérales contient toute l'information à véhiculer. Celle-ci ne se trouve pas altérée si l'on supprime l'une des bandes. La porteuse, d'autre part, ne contient aucune information. Elle peut donc être supprimée aussi. En définitive, la transmission se fait avec une bande latérale unique (en fait, les choses sont plus complexes et, dans bien des cas, la seconde bande latérale est seulement atténuée). A la réception, l'information diffusée (le plus souvent de la parole) est à nouveau rendue intelligible en y rajoutant la porteuse, créée par un oscillateur incorporé au récepteur ou à un bloc autonome.

L'avantage de cette technique est double. D'une part elle permet d'obtenir la même portée d'émission avec une puissance moindre (suppression de la puissance nécessaire pour transmettre la porteuse et l'autre bande latérale). D'autre

TEURS RADIO LONGUE-DISTANCE

GO	FM	PUISSANCE DE SORTIE	DIMENSIONS ET POIDS	AUTRES CARACTÉRISTIQUES	PRIX MOYEN (F)
50-400 kHz	87,5-108 MHz	4 W sur le secteur	45 × 32 × 19 cm	Alimentation : piles, batterie 9 V et secteur ; sorties haut-parleur et casque ; système d'antennes complet	6 400
Oui	Oui ; avec CAF	3 W sur le secteur	28 × 18 × 7,5 cm	Alimentation : 6 piles 1,5 V et secteur ; antennes AM et FM ; prises : tourne-disque, magnétophone, casque et haut-parleur ; bande marine	885
50-408 kHz	Non	300 mW	24 × 30 × 11 cm	Alimentation : 6 piles 1,5 V ou batterie 9 V ; antenne télescopique ; prises : antenne extérieure, magnétophone, casque	360
50-400 kHz	88-108 MHz			Bande météo et de navigation ; alimentation mixte	2 600

part, elle rend possible le logement de plus d'émetteurs sur une même bande.

La qualité des réceptions

Outre les ondes courtes, nous l'avons indiqué, les récepteurs longue distance captent les petites et grandes ondes. Parfois, la gamme des grandes ondes est étendue au-delà de 400 kHz afin de permettre l'écoute des bandes marines spéciales. Avec un tuner incorporé, la modulation de fréquence est également reçue. Il comporte presque toujours un dispositif C.A.F. (contrôle automatique de fréquence) et une antenne FM spéciale.

Si la puissance de sortie est suffisante, la musicalité en FM est généralement très bonne avec les récepteurs du haut de la gamme. Cette puissance d'au moins 4 ou 5 W n'est, en général, atteinte qu'en alimentation secteur, le débit de l'alimentation piles étant insuffisant. La musicalité dépend aussi beaucoup du haut-parleur. Quelles que soient les qualités de celui qui est intégré au poste, il faut bien dire qu'il n'est jamais très musical. Aussi est-il recommandé de brancher le récepteur sur une bonne enceinte extérieure (accordée en impédance et en puissance, bien entendu). Une solution meilleure consiste à relier le poste à une chaîne haute-fidélité (surtout si cette liaison peut se faire directement sans passer par l'amplificateur du récepteur).

L'écoute en modulation d'amplitude n'a pas, évidemment, la qualité de la modulation de fréquence. Mais même dans ce cas, le branchement à un bon haut-parleur extérieur améliore sensiblement les choses. Lorsque la réception se fait



ITT Touring 105

dans de bonnes conditions, cette qualité peut être supérieure à celle de la FM écoutée sur le haut-parleur intégré à l'appareil. C'est dire toute l'importance, dans une chaîne musicale quelle qu'elle soit, de ce dernier maillon que constitue le haut-parleur.

Roger BELLONE

LIBRAIRIE SCIENCE ET VIE

Nouvelle adresse:

43, rue de Dunkerque, 75010 PARIS
Tél. 878.09.95 - C.C.P. 4192-26 PARIS

HI-FI 76 — ACOUSTIQUE

AMPLIFICATION

BASSE FRÉQUENCE. CALCULS ET SCHÉMAS. — R. Amato. — L'auteur a voulu donner à chacun, qu'il soit professionnel ou amateur éclairé, la possibilité de calculer les éléments de sa chaîne. Exposé simple de la technique, mode de calcul de chaque composant. Préliminaire. Utilisation des transistors (rappel) (courant dans les transistors). Les préamplificateurs. Corrections. Schémas de préamplificateurs. Les amplificateurs de puissance. Notions de puissance. Schémas d'amplificateur de puissance. Les alimentations. Redressements des tensions alternatives. Alimentations proposées par des constructeurs. Annexes. Conception des filtres passifs utilisés en basse fréquence. Atténuateurs. Protection des alimentations. — 217 p. 16 x 24, 173 fig., 1974 F 48,00

THÉORIE ET PRATIQUE DES CIRCUITS DE L'ÉLECTRONIQUE ET DES AMPLIFICATEURS. — Quinet J. et Petitclerc A. — Tome I: Application du calcul des imaginaires à l'étude des circuits. — Théorie et calcul des imaginaires. Application des imaginaires à l'électricité. Théorie et pratique des circuits fondamentaux de la radio et de l'électronique. — 320 p. 16 x 25, 239 fig., 6^e édit., 1968. F 41,00

Tome II: Les amplificateurs HF et BF. Les oscillateurs et la modulation. Filtrage et ponts de mesure: Caractéristiques dynamiques et droites de charge. Étude des amplificateurs haute-fréquence et leurs circuits. Les oscillateurs. Modulations des oscillateurs; modulation en amplitude (AM), modulation de fréquence (FM). Générateurs d'impulsions: signaux rectangulaires et en dents de scie. Les filtres. Réception de la méthode des battements. Le changement de fréquence. L'amplification basse fréquence (liaison RC et par transformateur). Le push-pull B.F. La contre-réaction (et quelques autres montages). Amplification B.F. de puissance: étude du haut-parleur. Applications des imaginaires à des mesures radio-électriques: les ponts de mesures. — 430 p. 16 x 25, 182 fig., 6^e édit., 1968 F 56,00

AMPLIFICATEURS ET PRÉAMPLIFICATEURS BF HI-FI STÉRÉO A CIRCUITS INTÉGRÉS. — Juster F. — Préamplificateurs: Montages de la radiotechnique. Montages RCH. Montage Motorola. Montages Fairchild. Montages Siemens. Montages National et Signétic. Montages de la SGS. Montages GE. Amplificateurs: Amplificateurs SGS. Amplificateurs Motorola. Amplificateurs GE. Amplificateurs RCA. Amplificateurs Bendix. Amplificateurs RCA à modules. Amplificateurs Telefunken. Amplificateurs de la Radiotechnique. Amplificateurs Plessey. 256 p. 15 x 21, 209 fig., 19 tabl., 2^e édit., 1975 F 40,00

SCHÉMAS D'AMPLIFICATEURS BASSE FRÉQUENCE A TUBES. — Besson R. — 20 schémas d'amplificateurs de 2 à 40 watts avec description détaillée des accessoires et particularités de chaque montage. — 64 p. 27 x 21, 80 fig. et schémas, 5^e édit., 1972 F 13,50

SCHÉMAS D'AMPLIFICATEURS BASSE FRÉQUENCE A TRANSISTORS. — Besson R. — Amplification B.F. à transistors. Technologie des composants. Quelques conseils pour la réalisation des amplificateurs. Schémas de préamplificateurs. Amplificateurs fonctionnant sur pile ou accumulateur. Amplificateurs classe A sur secteur. Amplificateurs classe B sur secteur. Alimentations sur secteur. — 172 p., 15,5 x 24, 125 fig. Schémas et tabl. 5^e édit., 1975 F 30,00

AMPLIFICATEURS HI-FI A TRANSISTORS. — Brault R., Brault J.-P. — Rappel de quelques notions d'électricité. Amplification. Bref rappel du fonctionnement d'un transistor bipolaire. Réaction négative ou contre-réaction. Transistor à effet de champ à jonction. Amplification de puissance. Étude de quelques amplificateurs complets. L'alimentation des amplificateurs. Le préamplificateur. Assemblage des éléments d'une chaîne d'amplification. Mesures à faire sur les amplificateurs. — 324 p. 15 x 24, 231 fig. et schémas, 1974 F 40,00

PRATIQUE INTÉGRALE DES AMPLIFICATEURS BF A TRANSISTORS HI-FI STÉRÉO. — Juster F. — C'est pour les amateurs de musique et ceux de montages électroniques qu'a été rédigé cet ouvrage qui est « intégralement » pratique;

on y trouvera un grand nombre de schémas de préamplificateurs spéciaux ou universels et d'amplificateurs toutes puissances convenant en monophonie ou stéréophonie de 2 à 12 canaux et pour tous locaux, privés ou publics. **Méthodes générales.** Bases de la Hi-Fi. Composition des ensembles Hi-Fi. **Préamplificateurs:** Préamplificateur phonographique SESCOSEM. Préamplificateur universel ATEs. Préamplificateur Fairchild. Préamplificateur RCA. Montages divers. Montages National. **Amplificateurs:** Amplificateurs SESCOSEM. Amplificateurs RCA. Amplificateurs MOTOROLA. Amplificateurs divers. **Installation des amplificateurs:** Généralités. Installations stéréo. Montages divers. Emploi des filtres. **Essais et vérifications des amplificateurs:** Vérifications générales. Vérification de comparaison. — 250 p. 15 x 21, 175 fig. et schémas, nbr. tabl. 2^e édit., 1975 F 40,00

AMPLIFICATION. — Mounic M. — **Première partie: Méthodes graphiques. Procédés de calcul. Contre réaction.** — Amplificateurs: définition, classification. Méthodes graphiques. Calculs à partir des équations caractéristiques. Calculs à partir des schémas équivalents. Calculs en notation complexe. Contre réaction tension-tension. Types fondamentaux de contre-réaction. Exercices. Caractéristiques. 300 p. 16 x 22. Tr. nombr. fig., graphiques et tableaux, 1967 F 32,20

HAUTE FIDÉLITÉ

TECHNIQUES HI-FI. — Darteville Ch. — Utilisation des phonocapteurs. Bras et tables de lecture. Modulation de fréquence et réception stéréophonique. Alignement et réglage des récepteurs multiplex. Schémas pratiques de préamplificateurs et d'amplificateurs HI-FI à transistors. Schémas pratiques de préamplificateurs à circuits intégrés. Protection et alimentation des amplificateurs HI-FI. Réglages et mesures sur les amplificateurs HI-FI. Casques, filtres et enceintes acoustiques. La quadriphonie. 400 p. 16 x 24, 415 schémas et illustr., 1972 F 48,00

GUIDE PRATIQUE DE LA HI-FI. — Darteville Ch. — Les tables de lectures. Les solutions mécaniques. Les solutions électroniques. Les bras de lecture. Les pivotements. La poussée latérale. L'équilibrage dynamique. Perpendicularité de la pointe lectrice. Le phonocapteur. Technique de la gravure. Technique de la lecture. L'électronique de commande. Le préamplificateur-correcteur. L'amplificateur de puissance. Le Tuner. Le magnétophone. Le mécanisme d'entraînement. Technique de l'enregistrement et de la lecture. Haut-parleurs et enceintes acoustiques. Les haut-parleurs. Les enceintes acoustiques classiques. Les enceintes asservies. Lexique des termes HI-FI. 160 p. 16 x 24, 138 fig., 1974 F 27,00

HAUTE FIDÉLITÉ. Théorie, composants, construction, réglages. — Besson R. — Quelle est la constitution d'une installation B.F.? Les entrées. L'amplificateur. Les sorties. Quels sont les composants nécessaires? Les semi-conducteurs. Les résistances fixes. Les résistances variables. Les condensateurs fixes. Les transformateurs. Le circuit imprimé et les pièces diverses. Comment construire l'amplificateur? Le choix du schéma. La réalisation du circuit imprimé. La mise en route de l'amplificateur. Quel préamplificateur choisir? Ses caractéristiques. Les schémas de base. Les préamplificateurs complets. Quel amplificateur choisir? Les grandes options. Les amplificateurs à symétrie complémentaire. Les amplificateurs à symétrie quasi complémentaire. Les amplificateurs à circuits intégrés. Les alimentations. **Quelques schémas complets:** Électrophone portable 1,5 W secteur. Électrophone portable 1,5 W pile, secteur. Électrophone stéréophonique amplificateur stéréophonique 210 p. 13,5 x 24, 147 fig., 1973 .. F 30,00

LES CHAINES STÉRÉOPHONIQUES. — Poirier G. — Qu'est-ce que le son? L'oreille. La haute fidélité. La stéréophonie. Les éléments qui composent la chaîne stéréo. Les casques d'écoute. Les récepteurs AM et FM, les syntonisateurs ou tuners. Le magnétophone. Les meubles séparés ou les combinés. L'entretien des platines et du magnétophone. Le montage du ruban. Les problèmes usuels de la chaîne stéréo. La prise de son. Le disque. La tétraphonie. Liste des appareils H.F. 358 p. 13,5 x 20,5, très nbr. fig. schémas et photos, 1975 F 39,00

LA HI-FI ET L'ENREGISTREMENT EN 10 LEÇONS, et tout sur le stéréo de A à Z. — Folie-Dupart P. — Passons en revue disques, radio, bandes et cassettes. Travaillez à votre chaîne. Les qualités d'un bon tourne-disque. Le tuner doit être sensible et sélectif. Comment installer votre ampli et acheter les enceintes. Comment installer votre local d'écoute et quel est le prix de votre HI-FI? Un séducteur: le magnétophone. Sachez repiquer et faire de la prise de son. De la super-ambiance avec la tétraphonie mais à quel prix! La haute fidélité dans votre auto. 225 p. 14x 20. Nombreuses fig. et schémas, 1973... F 27,00

MAINTENANCE SERVICE HI-FI STÉRÉO. — Hémarlinquer P. — Les conditions de la haute fidélité. Les normes de la haute fidélité. Vérification et contrôle des bandes magnétiques et des disques. Entretien et classement des bandes et des disques. Contrôle essais, maintenance des microphones. Contrôle et entretien du phonocapteur: style, cellule, bras, support. Vérification et mise au point des tables de lecture. Contrôle et mise au point des amplificateurs de la chaîne sonore. Les bruits de fond; comment les réduire. Contrôle et mise au point des haut-parleurs. Utilisation des microphones. Installation et adaptation des chaînes sonores. La recherche rapide des pannes et des troubles de fonctionnement dans les chaînes sonores. Les pannes de la table de lecture; le dépannage rationnel. Dépannage rationnel des magnétophones. Service et dépannage des appareils à transistors. 384 p. 15x 21, 148 fig., 35 tabl., 1972... F 48,00

GUIDE PRATIQUE POUR CHOISIR UNE CHAÎNE HAUTE FIDÉLITÉ. — Cozanet G. — Un peu d'initiation; quelques principes. L'amplificateur. Pourquoi une chaîne? Les critères de la haute fidélité. La table de lecture, le tuner, l'amplificateur, l'ensemble de restitution sonore. Digression sur le magnétophone; l'installation. 76 p. 12x 27,5, 72 fig. et schémas, reliure spirale, 1972... F 21,00

J'INSTALLE MON ÉQUIPEMENT STÉRÉO. — Doré J.-M. — Des idées pour ranger, aménager les appareils stéréophoniques dans votre maison. Volume 1: Meubles d'appoint. Initiation à la stéréophonie. Les salles d'écoute. Agencement des appareils stéréophoniques. Le complexe stéréophonique. Meubles et ensembles. Le centre stéréophonique. 93 p. 21,5x 28, tr. nombr. fig., photos, plans inédits cotés, 1974... F 19,50
Volume 2: Complexes et murs. Emplacement des appareils. Discothèques. Console stéréophonique. Éléments muraux ajustables. Meubles-éléments. Meuble à usages multiples. 95 p. 21,5x 28, tr. nombr. fig., photos, plans inédits cotés, 1974... F 19,50

LA PRISE DE SON EN 10 LEÇONS, et tout sur le magnétophone de A à Z. — P. Folie-Dupart. — Prendre le son... mais avec QUOI? Le magnétophone, membre de la famille. Un ami qui a de la mémoire. Les micros: de bonnes oreilles. Panoplie du parfait preneur de son. Enregistrement de la musique classique. Le jazz, la prise de son à micros multiples. La chasse aux sons. Montage et trucages. Faites souvent le ménage. Lexique. 160 p. 14x 20, tr. nombr. ill., 1974... F 34,00

MAGNÉTOPHONES

TECHNIQUE DU MAGNÉTOPHONE, bobine, cassettes, cartouches. — Masscho R. — Étude préalable. Théorie: Enregistrement. Courant BF et courant US. Reproduction. Effacement. Ruban, bobines, cassettes. Têtes. Microphones. Amplificateurs. Précautions dans la réalisation des amplificateurs. Circuits US. Indicateurs de modulation. Alimentation. Mécanisme. Schémas d'ensemble. Perfectionnements. Magnétophones à cassettes ou à cartouches. Les réducteurs de bruits DNL-DNF-DOLBY-ANRS. Appareils spéciaux. Dispositifs annexes. Mainténances. Mesures. Dépannages. Mesures de performances. Mesures en position enregistrement. Mesures en position reproduction. Mesures globales. Mesures mécaniques. Dépannage. — 328 p. 16x 24, tr. nombr. fig., 1974... F 54,00

LA MÉCANIQUE DES MAGNÉTOPHONES ACTUELS. — Hémarlinquer P. — Les nouveaux problèmes mécaniques des magnétophones: défauts, perfectionnements et pratique des moteurs. La régulation et la variation de vitesse. La régulation des moteurs. Pratique et progrès. Les systèmes d'entraînement des magnétophones. Défauts. Progrès. Pratique. Contrôle et automatisme sur les magnétophones. Progrès et pratique. Précis des cassettes et des cartouches. Pratique, emploi. Maintenance des cassettes et des magnétophones à cassettes. Transformations et pratique des têtes magnétiques. 167 p. 15x 21, 121 fig., 1974... F 32,00

LA NOUVELLE PRATIQUE DES MAGNÉTOPHONES. Construction. Mise au point. Entretien. Transformation. Applications. — Hémarlinquer P. — Principes des magnétophones. Les supports magnétiques et leur emploi. Les platines mécaniques. Montage électronique des magnétophones. Montage d'une platine de machine à ruban. Réalisation d'une machine à ruban. Magnétophones types d'amateurs. L'enregistrement à quatre pistes et sa pratique. Les magnétophones pour usages spéciaux. La stéréophonie. La télécommande et le contrôle auto-

matique des magnétophones. Avantages et réalisations des magnétophones à transistors. Les magnétophones à cassettes. Les magnétophones et le cinéma. Les magnétophones d'enseignement. — 346 p. 13,5x 21, 170 schémas, 16 tabl., 31 photos. Nouv. édit., 1967... F 45,00

LE MAGNÉTOPHONE ET SES UTILISATIONS. — Deschepper R. et Dartrevel Ch. — Ce livre se présente sous la forme de 12 lettres adressées à une personne qui va acquérir un magnétophone, afin de la conseiller utilement. Cet échange de correspondance permet, par le jeu des questions, de donner une réponse à tous les problèmes posés. — Où il est question de quelques principes généraux. Où il est encore question d'acoustique. Le magnétisme? Pas si facile! Tête à tête « par la bande ». A propos de bandes. Où l'on discute de mécanique. Où il est enfin question d'électronique. Considérations pratiques. Retour aux sources. Où l'on passe aux actes. « Ficelles » et tours de main, où il est question de choix. — 84 p. 16x 24, 56 fig., 3^e édit., 1974... F 18,00

LES MAGNÉTOPHONES A CASSETTES. — De Salmiech Ch. — L'avènement de la cassette. Rappel électroacoustique. L'enregistrement magnétique. Accessoires et perfectionnements. Haute fidélité en cassettes. Pratique des magnétophones. Utilisations et applications diverses. Entretien et réparations: les cassettes, la mécanique, l'électronique, les pannes et leurs causes. 164 p., 13,5x 21, 56 fig. et photos, 1975, F 25,00

GUIDE PRATIQUE POUR CHOISIR ET UTILISER UN MAGNÉTOPHONE. — Gendre C. — Principe du magnétophone. Les pistes et les vitesses. Les appareils à cassettes. Quel magnétophone choisir? Quelle bande magnétique adopter? Les microphones. L'enregistrement et la reproduction. Renseignements utiles. — 50 p. 12x 27,5, nombr. fig. et schémas, reliure spirale, 1971... F 21,00

LES MAGNÉTOSCOPES. Théorie et pratique. — Dartrevel Ch. — Principes généraux de l'enregistrement des images sur bande magnétique. Les divers procédés d'enregistrement des images vidéo. Les auxiliaires des magnétoscopes: caméras électroniques, adaptateurs TV et convertisseurs V.H.F. Schémas pratiques de magnétoscopes grand public. Annexe: Technique de montage des bandes vidéo. 144 p. 16x 24, 68 fig., 20 photos, 3 tabl., 1972... F 21,00

INTERPHONES ET TALKIES-WALKIES. — Besson R. — Schémas d'une liaison hertzienne. Émetteur. Récepteur. Réglementation française. Réalisation des appareils. Schémas industriels de talkies-walkies (gamme des 27 MHz). Microphones H.F. (gamme 30 à 40 MHz). Principe des interphones. Interphones dirigés à commutation manuelle. Amplificateur pour interphone. Intercommunication totale automatique. Portiers électroniques. Interphones H.F. à liaison par le secteur. Interphones H.F. à boucle inductive. 192 p. 16x 24, 42 figures et schémas, 2^e édit. 1974... F 36,00

ÉMETTEURS-RÉCEPTEURS DE TYPE « WALKIES-TALKIES ». — Duranton P. — Préliminaires: Réglementations et autorisations. Généralités sur les semi-conducteurs utilisés dans le livre. Réalisation d'un testeur de transistors. Récepteurs portatifs. Émetteurs portatifs. Émetteurs-récepteurs portatifs. Antennes, réglable, taux d'ondes stationnaires. Conseils et cours de main. Codes internationaux et principales applications utilisées. 208 p. 15x 21, 142 fig., 3^e édit., 1975... F 30,00

ENCEINTES ACOUSTIQUES

ÉLECTRICITÉ ET ACOUSTIQUE. Notions de base à l'usage des radio-TV-électroniciens amateurs. — Cor. M. — Voici enfin un ouvrage écrit spécialement pour les électriciens amateurs. Ceux-ci ont, en effet, absolument besoin de posséder des notions suffisantes sur ces deux parties de la Physique générale pour absorber l'étude des circuits électroniques qui sont généralement des circuits électriques dans leur grande majorité. Il en est de même pour l'étude de la basse fréquence qu'on ne peut aborder sans connaître l'acoustique. Électricité: Grands circuits électriques. Composants: résistances, bobines, capacités, sources d'énergie. Redresseurs de courant alternatif. Courant continu. Impédance. Résonance. Grands circuits magnétiques. Acoustique. — Acoustique: Notions élémentaires. Oreille. Logarithmes et décibels. Instruments de mesure. Propagation des sons. Transducteurs électro-acoustiques. Quelques notions d'électronique. 304 p. 15x 21, 256 fig., 21 tabl., 1971... F 37,00

ENCEINTES ACOUSTIQUES HI-FI à construire soi-même facilement. — Chauvigny P. — La réalisation pratique des enceintes acoustiques HI-FI. L'enceinte acoustique. Les haut parleurs. Le baffle. Raccordements électriques. La soudure. La menuiserie. Exemples d'adaptations. Les Kits. Pratique et théorie des enceintes acoustiques HI-FI. Groupement d'enceintes acoustiques. Adaptation d'impédance. La quadriphonie. Le haut-parleur. Fonctionnement des enceintes acoustiques. Les filtres. Adaptation d'impédance pour haut-parleurs. Un peu d'acoustique. 110 p. 14x 20, 95 fig., 1974... F 18,00

LES ENCEINTES ACOUSTIQUES. HI-FI stéréo. — Hémardinier P. et Léonard M. — Ce livre permettra à tous les utilisateurs et aux professionnels des installations HI-FI stéréo de se documenter à fond sur toutes sortes d'enceintes acoustiques existant actuellement. Pour chaque enceinte, les auteurs fournissent toutes les explications concernant le fonctionnement des enceintes et toutes les données pratiques permettant leur construction. Grâce à ce livre, les intéressés pourront construire eux-mêmes et à très bon compte, l'enceinte qu'ils auront choisie. — Fonctions et principe des enceintes acoustiques. Enceintes closes. Enceintes miniature et HP passifs. La construction des enceintes bass-reflex. Enceintes bass-reflex originales. Les variantes des enceintes bass-reflex. Baffles exponentiels. Pavillons acoustiques. Construction des enceintes à pavillon. Murs et colonnes sonores Haut-parleurs à tubes sonores. Haut-parleurs à diffusion et labyrinthes. Réalisation des enceintes à labyrinthes. Haut-Parleurs à conques. 176 p. 15x 21, 136 fig., 3 tabl., 2^e édit., 1974 F 35,00

COMMENT CONSTRUIRE Baffles ET ENCEINTES ACOUSTIQUES. — Brault R. — Généralités. Le haut-parleur électrodynamique. Fonctionnement électrique, fonctionnement mécanique, fonctionnement acoustique du haut-parleur. Baffles et écrans plans. Coffrets clos. Enceintes acoustiques à ouvertures. Enceintes Bass-Reflex. Enceintes à labyrinthe acoustique. Enceintes à pavillon. Enceintes diverses. Réalisations pratiques d'enceintes et baffles. Réglage d'une enceinte acoustique. Conclusion. Haut-parleurs couplés à l'aide d'un filtre. Filtres. 104 p., 14,5x 21, 45 fig., 7^e édit., 1975 F 22,00

MUSIQUE ÉLECTRONIQUE

MUSIQUE ÉLECTRONIQUE. — Letraublion G. — Acoustique, ouïe, musique, instruments. Rappel sur les mouvements vibratoires. Les sons musicaux et l'oreille. La musique. Principes et classifications des instruments de musique. L'électronique au service de la musique. Les petits « orgues » électroniques. Les orgues classiques. Les orgues de variété; leurs effets spéciaux. Les systèmes d'accompagnement automatique. Autres instruments de musique électroniques. Les synthétiseurs de fréquence. 336 p., 16x 24, 332 fig., schémas et photos, 1975 F 60,00

ORGUES ÉLECTRONIQUES ULTRA-MODERNES. — Juster F. — Classification. Principes généraux des générateurs. Maître-diviseur SAH 220. Accord d'un orgue. Diviseurs de fréquences. Contacteur électronique. Les formants. Filtres spéciaux. Transposition et accord. Percussion sustains et autres effets spéciaux; Pianoforte, enveloppes. Amplification BF avec trémolo et

réverbération. Trémolos et vibratos mécanoélectriques. Enceintes acoustiques à tuyaux. Exemples d'orgues simples. 270 p., 15x 21, 245 fig. et schémas, 17 tabl., 1975 F 46,00

ORGUES ÉLECTRONIQUES à transistors et circuits intégrés. — Besson R. — Rappels d'acoustique. La musique. Les instruments de musique. La conception des instruments de musique électronique. Les oscillateurs ou générateurs. Les diviseurs de fréquence. Les circuits de distribution. Les circuits de traitement des signaux. L'amplification basse fréquence et l'alimentation. Les enceintes acoustiques. Quelques montages simples 210 p. 15,5x 24, 164 fig., 1974 F 30,00

PETITS INSTRUMENTS ÉLECTRONIQUES DE MUSIQUE et leur réalisation. — Juster F. — Générateurs. Générateur universel avec vibrato pour orgues monodiques. Générateur de signaux rectangulaires avec vibrato. Générateur d'orgue monodique très simple. Ensembles multi-monodiques. Les instruments à vents. Généralités. Exemples d'instruments à vent: saxophone, cor anglais, clarinette. Trombone à coulisse électronique. Accordéon électronique. Instruments à cordes: Instruments à cordes avec générateurs électro-magnétiques. Instruments électroniques à cordes. Instruments spéciaux. Thérémine à transistors. Thérémine dansant. Percussions, tambour, bongo, blocs, etc. Schémas pratiques. — 135 p. 15x 21, 209 fig., 1973 F 22,00

EFFETS SONORES ET VISUELS POUR GUITARES ÉLECTRONIQUES. — Fighiera B. — Le but de cet ouvrage est de permettre à tous, et en particulier aux petits groupes ou formations musicales, de s'initier à la technologie de l'électronique en réalisant quelques montages simples, destinés à produire divers effets sonores et lumineux d'accompagnement pour guitare électrique. La première partie résume le rôle des divers composants électroniques entrant dans la réalisation de ces montages. A chaque montage est associé un plan de câblage dont il suffit de s'inspirer pour mener à bien la réalisation, sans difficulté. Les principales « tortures électroniques » que l'on peut faire subir à la musique sont traitées: boîtes de distorsion, guitare triplet, trémolo, vibrato, pédale waa waa, réverbération. La deuxième partie est consacrée aux effets visuels, générateurs de lumière psychédélique, programmeur de lumière, stroboscope, destinés à donner une ampleur bien plus vivante à la musique. 96 p., 15x 21, 98 fig., 1972, 2^e édit., 1974 F 16,00

AUDIO-VISUEL. — Moyens, arts et techniques. — Betton G. — Quelques notions d'acoustique. Le magnétophone. Le disque. La radiodiffusion sonore. La sonorisation des documents visuels. Les auxiliaires visuels non projetés. La projection fixe. Le cinéma. La télévision (ou radiodiffusion visuelle). L'instruction programmée. Les machines à apprendre. 248 p. 16x 21, 93 fig., 1972 F 25,00

COMMANDES PAR CORRESPONDANCE (France et Étranger)

Les commandes doivent être adressées à la **LIBRAIRIE SCIENCE ET VIE**, 43, rue de Dunkerque, 75010 Paris. Elles doivent être accompagnées de leur montant, soit sous forme de chèque bancaire ou de mandat-poste (mandat-carte ou mandat-lettre), soit sous forme de virement au Compte Chèque Postal de la Librairie: Paris 4192 - 26. Au montant de la commande doivent être ajoutés les frais d'expédition et d'emballage:

- Commande inférieure à F 100 : taxe fixe F 2,00 + 10 % du montant de la commande.
 - Commande de F 100 à F 150 : taxe fixe F 5,00 + 5 % du montant de la commande.
 - Commande supérieure à F 150 : taxe forfaitaire F 5,00. Recommandation obligatoire : F 2,40.
- Taxe de recommandation : France : F 2,40 ; Étranger : 4,70.

Il n'est fait aucun envoi contre remboursement.

LIBRAIRIE SCIENCE ET VIE, 43, rue de Dunkerque, 75010 PARIS

15 SEPTEMBRE/15 JUIN - Ouverture : du mardi au samedi de 9 h à 19 h ; le lundi, de 10 h 30 à 19 h.

LE CATALOGUE GÉNÉRAL

14^e Édition 1975

4 500 livres techniques et scientifiques classés en 36 chapitres et 156 rubriques
500 pages, format 13,5 x 21, poids 500 g.

PRIX FRANCO F 15,00

POUR :

- *ÊTRE LE PREMIER TÉMOIN DES DÉCOUVERTES*
- *SUIVRE LEUR ÉVOLUTION*
- *CONNAÎTRE LEURS APPLICATIONS LES PLUS MODERNES, LES PLUS VITALES :*



*lisez
chaque mois*

SCIENCE&VIE

*2 100 000
lecteurs
à travers
le monde*

SCIENCE&VIE

CE N'EST PAS SEULEMENT LA CONNAISSANCE DES ÉVÉNEMENTS SCIENTIFIQUES, C'EST AUSSI UNE APPROCHE SCIENTIFIQUE POUR EXPLIQUER LES ÉVÉNEMENTS.

