informations électroniques

M.B.L.E

N° 37

BULLETIN TECHNIQUE ÉDITÉ PAR LE DÉPARTEMENT DE DOCUMENTATION "ELECTRONIQUE" DE LA MANUFACTURE BELGE DE LAMPES ET DE MATÉRIEL ÉLECTRONIQUE S. A.

1960

étude générale de la stéréophonie

première partie

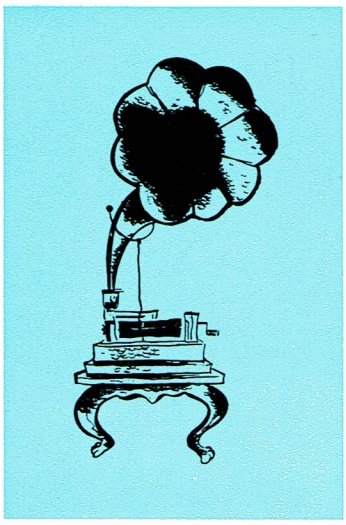
La stéréophonie semble être, à première vue, une technique extrêmement simple. En effet, il ne s'agit en somme que de capter les sons, produits par une source quelconque, au moyen de deux microphones, disposés de la même façon que les oreilles sur la tête humaine, de les transmettre ensuite séparément par deux canaux et de les reproduire enfin de telle manière qu'ils parviennent aux oreilles de l'auditeur comme ils sont parvenus aux microphones.

C'est simple... mais ce n'est que la théorie. Et comme dans tout domaine technique, il y a une sérieuse marge entre la théorie et la pratique.

Chaque maillon de la chaîne pose en fait de nombreux problèmes pratiques auxquels certaines solutions ont déjà été apportées. Les unes, plus heureuses que les autres, n'ont cependant pas encore atteint la perfection. Cela n'empêche pas que la stéréophonie jouit, dès à présent, de la faveur du grand public et il est indéniable qu'elle est le système de reproduction sonore de l'avenir.

Nous avons déjà traité de l'un ou de l'autre détail à ce sujet, mais nous croyons que le moment est venu de publier une étude générale, englobant les aspects les plus divers de la question.

Notre but n'est nullement de proposer ici la solution idéale, mais simplement de faire le point. Cela permettra à nos lecteurs de suivre plus facilement les développements futurs.



l'enregistrement sonore

Les progrès énormes du disque et de la bande magnétique, réalisés aux cours des dernières années, nous font parfois oublier que le « gramophone » aussi bien que l'enregistreur magnétique datent déjà de la fin du siècle dernier, le premier étant dû à Edison (1877), le second à Poulsen (1898). Cette dernière réalisation resta, pendant une quarantaine d'années, parmi les inventions inexploitables, malgré ses avantages certains, par suite du manque de matériaux magnétiques convenables et d'appareillage électronique capable de fournir une très forte amplification de tension. Par sa nature plus mécanique, le phonographe se prêta mieux à un développement immédiat. Berliner perfectionna l'invention d'Edison à un point tel qu'au début du vingtième siècle apparut déjà une modeste industrie du disque. Jusqu'en 1925, cette industrie resta essentiellement mécano-acoustique; vers cette époque, l'électrotechnique avait progressé suffisamment et l'électronique commençait à jouer un rôle dans la technique de l'enregistrement, rôle qui ne cessera plus de croître.

Entretemps, la radio dont on avait craint qu'elle ne fût une concurrente fatale à la jeune industrie de la « conserve musicale », était devenue son meilleur client et sa meilleure propagandiste. D'autre part, de nouveaux moyens, tels que l'amplificateur électronique, le graveur magnétique, permirent de diminuer de moitié la distorsion et de doubler l'étendue de la réponse en fréquence (la période mécano-acoustique ne permettait que la reproduction des fréquences comprises entre 200 et 1 500 Hz). Vers 1934, les limites de la bande de fréquences enregistrée étaient respectivement 100 et 4 000 Hz, malheureusement, la dynamique (*) restait faible. Pour nos conceptions modernes, l'appareillage d'enregistrement, la matière première des disques et le phonocapteur magnétique avec une pression d'aiguille (force d'appui) d'environ 100 grammes restèrent pourtant très pauvres et il n'est pas étonnant que le rapport signal/bruit ne parvienne pas à dépasser 20 dB. Avec la dynamique possible de 80 dB d'un orchestre symphonique, l'on ne pouvait donc logiquement poser aucune exigence de reproduction fidèle.

(*) Le terme « dynamique » exprime l'écart qui se manifeste dans le temps entre les intensités relatives maximum et minimum d'une émission sonore.

phonographe d'Edison (1877)

Il nous fallut attendre jusqu'en 1948 les premiers disques capables d'une reproduction acceptable selon nos normes actuelles.

Notons cependant que ce ne furent pas les progrès de l'électronique, qui permirent ce résultat, mais bien l'évolution de la technologie mécanique et chimique. Nous avons, en effet, une tendance à oublier que l'électronique se situait déjà à un niveau assez élevé vers les années 1935 à 1940 et qu'à ce moment, il était parfaitement possible de construire un appareillage BF d'excellente qualité; les caractéristiques des tubes se rapprochèrent de très près à cette époque, de celles des tubes actuels et les problèmes du souffle et de la contre-réaction n'étaient pas inconnus.

C'étaient donc surtout les maillons mécaniques et chimiques de la chaîne de reproduction qui étaient encore trop faibles. Il n'est pas possible d'entrer ici dans les détails, mais si on étudie un tant soit peu les perfectionnements essentiels des dernières années, on se rend compte que les haut-parleurs, les graveurs, les cellules de lecture et la matière première des disques prennent le premier rang des éléments ayant le plus contribué au progrès actuel. Ce furent, en effet, la réalisation de cellules de lecture de poids extrêmement réduit et l'emploi de la vinylite, réduisant le souffle dans des proportions énormes, qui permirent à la CBS de sortir, en 1947, les premiers disques à longue durée (L.P.). Ce fut certainement le pas le plus important, après l'enregistrement électronique (1925), que fit l'industrie du disque dans son histoire. En 1948, le disque L.P. permettait, déjà, d'étendre la bande passante de 40 à 12 000 Hz, tandis que le rapport signal/bruit passait à environ 40 dB (soit un rapport de 100 en tension).

Actuellement, on a atteint des caractéristiques de fréquence de 25 à 20 000 Hz avec une dynamique d'environ 52 dB (soit un rapport de 400) et, ceci, avec un taux de distorsion pratiquement indécelable.

Mais où en était donc l'invention de Poulsen : l'enregistreur magnétique ? Ce ne fut qu'en 1940 que les progrès de la technologie mécanique et électronique permirent de réaliser des enregistreurs plus ou moins acceptables. Le souffle et la distorsion étaient encore assez importants jusqu'au moment où ces facteurs défavorables disparurent grâce au remplacement de la prémagnétisation continue par la prémagnétisation H.F. Dès ce moment, l'enregistrement magnétique devenait pratiquement supérieur à l'enregistrement par gravure sur disque.

L'armée allemande l'employa pendant la deuxième guerre mondiale, ce qui accéléra encore le développement de cette technique et permit de présenter, dès la fin des hostilités, ce genre d'appareil comme produit commercial. Son introduction, dans les milieux professionnels, fut très rapide et, peu après, les premiers appareils non professionnels firent leur apparition. On a même pu craindre, à cette époque que le procédé ne mît le disque sérieusement en danger, mais le nouveau « L.P. » équilibra encore la situation, de sorte que la paix revint entre les tenants des deux systèmes.

Comme nous avons pris la *qualité* comme point de départ de cette introduction, nous devons admettre, malgré les caractéristiques excellentes des disques modernes, que l'enregistrement magnétique demeure supérieur, au stade professionnel du moins. Il n'y a pas à en douter si nous nous rappelons que l'information gravée sur disque a d'abord été enregistrée sur bande magnétique. Pour l'amateur de musique, cette différence n'est pourtant pratiquement pas sensible et il y a d'autres raisons encore (facilité d'emploi, prix de revient, etc.) qui gardent au disque sa supériorité pratique dans l'usage domestique.

Signalons encore, en passant, que la période de 1925 à 1950 a vu naître d'autres systèmes d'enregistrement et de reproduction, réservés pourtant presque exclusivement au domaine professionnel; citons notamment, le système Philips-Miller, basé sur la perforation mécanique d'un film et la lecture photoélectrique. Tous ces systèmes présentaient pourtant le désavantage d'un prix extrêmement élevé.

la stéréophonie

La tendance générale des laboratoires de Basse Fréquence a toujours été de s'approcher dans la mesure du possible de la *réalité* acoustique. Pour atteindre ce but leurs efforts ont surtout porté sur l'augmentation de la bande passante et de la dynamique, et sur la diminution de la distorsion.

Déjà avant la guerre, les principes de la reproduction stéréophonique étaient connus. Les premières réalisations ne datent pourtant que de 1952, lorsqu'on entendit, en Amérique, les premières émissions radiophoniques en stéréo et les premiers enregistrements sur bande, suivant ce système nouveau. Ils suscitèrent aussitôt un grand intérêt de la part du public et ce premier succès stimula l'industrie du disque : en 1958, les premiers disques stéréophoniques de bonne qualité virent le jour.

En stéréophonie, il s'agit d'enregistrer simultanément deux signaux avec un contenu d'information différent et de les reproduire suivant le même système. Il est assez facile de réaliser ceci au moyen d'un enregistreur magnétique, puisque le système à double piste n'offre plus aucune difficulté. Mais l'enregistreur est moins répandu que le disque et le vrai départ de la stérophonie devait donc attendre l'évolution de ce dernier. Les premiers à présenter une solution furent les laboratoires Cook, sous la forme d'un disque à double plage. Mais le succès du disque L.P. réside pour une grande part dans la durée prolongée de l'enregistrement. Dans les disques Cook, on perdait la moitié de cet avantage et ce fut une des raisons qui les empêchèrent de dépasser le stade de la curiosité.

La vraie solution exigeait l'inscription séparée des deux informations dans un sillon unique.

Presque en même temps, on présentait quatre solutions à sillon unique. L'Amérique fut enthousiaste et, sans attendre longtemps, on adopta le système en diagonale ou système « 45/45 », de Westrex. Peu après, l'Europe suivit cet exemple.

Ce choix semble justifié par les performances obtenues, bien qu'il ne soit pas impossible que le développement d'un autre système donne des résultats encore meilleurs.

En effet, aucun graveur stéréophonique ne satisfait actuellement aux exigences de la *compatibilité* c'est-à-dire à la possibilité de lire un disque stéréophonique avec une tête monophonique conventionnelle sans en endommager la gravure.

Et il nous faut constater, hélas, qu'à ce point de vue, même le système Westrex n'atteint pas encore l'idéal, puisque l'enregistrement est tel qu'il faut faire appel, pour les disques stéréophoniques, à une tête de lecture spéciale, même si l'on se contente de la reproduction de ces disques en « monaural » (1). Mais ce système semble encore susceptible de développements futurs, ce qui nous permet d'espérer, pour les années à venir, des disques stéréophoniques de qualité absolument supérieure.

Pour l'instant, la radiodiffusion, qui joue un rôle extrêmement important dans la propagande du disque, ne peut rien faire dans le sens de la stéréophonie. Elle ne dispose, en effet, que d'un seul canal. Les quelques essais de stéréophonie utilisant deux émetteurs distincts (AM, FM ou même l'émetteur-son de la TV) n'ont pas donné grand résultat. Sous la poussée de l'intérêt du public pour la stéréophonie, la radiodiffussion sera pourtant obligée d'adopter, tôt ou tard, des émissions à double canal. La solution idéale semble d'ailleurs déjà exister sous la forme de la « FM-multiplex », mais la reconversion des réseaux de radiodiffusion prendra sans doute encore un certain temps.

Dans ce qui suit, nous nous efforcerons de détailler les maillons de la chaîne entre le microphone et l'oreille afin d'y repérer les difficultés et les possibilités éventuelles de trouver les solutions recherchées.

la relation " haute fidélité - stéréophonie „

C'est vers 1950, que la « haute fidélité » (Hi-Fi) fut lancée commercialement. C'est un terme qui ne se prête pas à une définition absolue. Il est employé pour désigner des installations dans lesquelles on s'efforce, avec plus ou moins de succès, d'atteindre une qualité de reproduction supérieure. On discute toujours sur les détails du contenu de ce terme, mais en général, on peut affirmer qu'une installation de reproduction, digne du qualificatif « Hi-Fi », doit au moins répondre aux exigences suivantes :

a) Un amplificateur de sortie d'une puissance relativement élevée afin de permettre une reproduction suffisante de la dynamique du

(1) Par reproduction monaurale on entend reproduction à canal unique ou monophonique.

disque ou de la bande magnétique. Certains avancent, dans cet ordre d'idée, un minimum de 10 watts, mais tout dépend des dimensions du local d'écoute et du rendement des haut-parleurs.

b) Pas ou très peu de distorsion à la puissance normale d'utilisation. Une distorsion de 1 % à 10 watts est souvent donnée comme limite permise.

c) Une courbe de réponse linéaire entre 20 Hz et, au minimum, 40 000 Hz à 2 dB près.
d) Un rapport signal/bruit d'au moins 60 dB par rapport à la puissance maximum.

e) Un haut-parleur ou une combinaison de reproducteurs capable de reproduire correctement un spectre s'étendant de 50 à 20 000 Hz.

f) Une cellule de lecture dont la caractéristique de fréquence atteint au moins 12 000 Hz sans résonance propre.

g) Un tourne-disque ou un enregistreur sur bande d'une qualité mécanique excellente, présentant un minimum de pleurage (1) (« wow ») ou de scintillement (« flutter »). La stéréophonie, pose-t-elle moins d'exigences ou va-t-elle plus loin encore ? La réponse à cette question n'est pa si simple. L'effet de présence (et surtout l'effet directif) de cette nouvelle technique, retient l'attention du public à un point tel, qu'il se montre beaucoup plus concillant quant à la qualité de reproduction que pour une audition « monophonique ». Mais en sera-t-il toujours ainsi ? Il est probable que les mêmes exigences s'appliqueront dans l'avenir; d'ailleurs, les problèmes de qualité pour les tourne-disques et les cellules de lecture sont, dès maintenant, déjà beaucoup plus difficiles à résoudre.

Il y a peut-être un point sur lequel il sera possible de diminuer les exigences dans le cas de la stéréophonie : c'est celui de la puissance sonore. En effet, la reproduction monaurale exige une puissance assez élevée afin de respecter la dynamique, qui est essentielle pour obtenir un certain effet de profondeur; dans la reproduction stéréophonique, cet effet est obtenu tout simplement par l'effet directif inhérent au système. De toute façon, nous sommes convaincus qu'après le premier engouement pour la stéréophonie, nous verrons s'ajouter toutes les nouvelles exigences de la technique Hi-Fi à celles qui existent déjà pour la stéréophonie.

(1) Variations de la hauteur d'un son provoquées par des variations de vitesse du système d'entraînement. Si les variations sont lentes le phénomène est appelé « pleurage », si les variations sont rapides il est appelé « scintillement ».

technique de la prise de son stéréophonique

Nos oreilles nous permettent de percevoir l'intensité et la durée d'un son, mais elles sont beaucoup plus sensibles encore aux facteurs direction et distance. Pour la détermination de cette distance, notre système auditif se base sur trois éléments principaux :

1. l'écart dans le temps entre le moment de perception par chaque oreille de l'onde sonore, provenant d'une même source;
2. la différence d'intensité;
3. les différences de timbres.

Quant à la direction, on constate que, dans un champ sonore diffus, il est possible de la déterminer au moyen des différences d'intensité entre le son direct et les réflexions.

Donc, des éléments comme les différences de phase, d'intensité et de timbre nous permettent de localiser une source sonore.

Dans une prise de son stéréophonique, il faudra tenir compte de ces éléments afin de garantir une reproduction aussi réelle que possible.

Suivant la méthode classique, la prise de son se fait au moyen de deux microphones. Pour une reproduction exacte de la disposition des sources enregistrées, ces microphones devront posséder des diagrammes polaires adéquats et leur caractéristique de fréquence devra correspondre au spectre requis par la nature du programme. La pratique a démontré qu'un microphone à condensateur est un transducteur de haute qualité grâce à sa caractéristique de fréquence large et linéaire, sans pointes de résonance. Sa tension de sortie très faible constituait, jadis, un désavantage certain, mais les circuits électroniques actuels, à très faible souffle, ont résolu complètement ce problème. De plus, on peut changer, de façon très simple, son diagramme polaire d'après les besoins de l'application envisagée. Ainsi, un diagramme cardioïde peut être très

intéressant pour discriminer à distance un son direct provenant d'un front sonore étendu, ce qui est très important pour la localisation sonore.

On peut également obtenir ces diagrammes cardioïdes avec d'autres microphones, mais le microphone à condensateur s'est déjà montré particulièrement précieux dans des prises de son stéréophoniques (par exemple, dans les films sonores) et l'on peut dire que les professionnels l'apprécient sans réserve.

Dans la prise de son stéréophonique classique, on fait appel à deux microphones principaux, séparés par une distance variant de 25 à 125 cm suivant le milieu et l'étendue de la source. Si nécessaire, on peut y ajouter des « microphones de soliste » (généralement deux) : un atténuateur variable et un mélangeur dans les lignes de ces deux microphones permettent, au technicien d'enregistrement, de mélanger les deux informations afin de prévenir ainsi, en cas de léger déplacement du soliste, l'impression que ce dernier court d'un haut-parleur à l'autre. En n'employant qu'un seul microphone de soliste, il est presque impossible d'éviter ce phénomène.

Le signal du ou des microphone(s) de soliste peut être mélangé avec un ou avec les deux canaux.

Le schéma de principe de la figure 1 nous montre le montage classique.

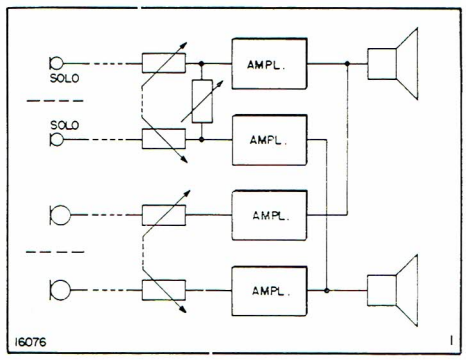


Fig. 1

Afin d'accentuer l'impression «gauche-droite» et obtenir une certaine différence de timbre, on peut placer un petit séparateur acoustique entre les deux microphones ou les monter dans une tête artificielle.

Une source sonore se trouvant à une certaine distance et au centre des deux microphones principaux y provoquera des signaux d'une intensité pratiquement identique; une source sonore se trouvant vers la droite sera captée par le microphone de droite et une source située vers la gauche attaquera le microphone de gauche. Le microphone « droite » captera naturellement également une portion des sons « gauche » et inversément, mais ceci avec une différence d'intensité marquée ainsi qu'avec une différence de phase. Ceci est absolument nécessaire, faute de quoi la reproduction serait affectée d'un « trou » au milieu, tandis qu'une accentuation trop forte à droite ou à gauche deviendrait insupportable.

On a pu constater, surtout dans les premiers enregistrements stéréophoniques, que le technicien avait accentué intentionnellement un des côtés, probablement dans le but de rendre l'effet stéréophonique plus saisissant pour l'auditeur. Ce procédé provoque des effets tellement gênants que certains constructeurs d'équipements stéréophoniques ont prévu un « *blend control* » permettant, notamment, de remédier à cet inconvénient. Ce « blend control » n'est en effet rien d'autre qu'une *possibilité de mélange* partiel, à l'audition, des deux canaux de reproduction.

Moyennant une disposition judicieuse des microphones et une conception acoustique saine, il sera possible d'obtenir, par l'intermédiaire d'une installation stéréophonique convenable, une reproduction exacte de la matière enregistrée. Il est clair aussi qu'il ne sera pas possible de mélanger, sans plus, les deux canaux ou de négliger l'information d'un des deux canaux pour obtenir une reproduction naturelle. D'ailleurs, une disposition « stéréophonique » des microphones ne correspondra jamais à la disposition optimum de ces éléments pour un enregistrement « monocanal ». D'un disque stéréophonique, enregistré suivant la méthode classique, pourra donc résulter une reproduction « mono » (par mélange pur et simple des deux canaux) moins bonne que celle que procurerait un disque enregistré directement suivant le procédé monophonique.

La pratique a déjà démontré que le possesseur d'un équipement de reproduction conventionnelle à un seul canal aura tout avantage à ne jouer que des enregistrements

spécifiquement destinés à cet usage, s'il tient à obtenir les meilleurs résultats possibles. Aussi longtemps que la stéréophonie ne sera pas généralisée, les fabricants de disques seront donc obligés d'enregistrer leur répertoire deux fois. Cela est peu économique et souvent même très difficile. Heureusement le fabricant peut faire appel à un système d'enregistrement « compatible », c'est-à-dire un système donnant un maximum d'informations pour la reproduction monophonique en même temps qu'un maximum d'informations stéréophoniques. Un tel enregistrement peut se faire sur bande magnétique et à la copie il pourra décider de faire soit un disque monaural, soit un disque stéréophonique.

Mais on peut aller plus loin encore en rendant les informations sur un disque stéréophonique telles que, reproduites sur une installation à une seule voie, elles donneront une reproduction exacte. A ce moment, un seul disque, dit « compatible » suffira pour la double clientèle.

Les ingénieurs du son ont étudié tout spécialement ce problème et ont recherché une position microphonique donnant ce résultat. A titre d'exemple, le système stéréophonique M.S., d'origine danoise, sera décrit dans le paragraphe suivant.

le système stéréophonique " M. S. „

Pour la clarté de la description, il nous faut étudier l'application du microphone à diagramme circulaire.

Si nous voulons retransmettre aussi fidèlement que possible, un signal stéréophonique, il nous faut disposer de deux informations distinctes : l'information du timbre et l'information de la direction. Afin d'opérer cette distinction, nous aurons donc tout avantage à la réaliser déjà à partir du microphone.

C'est sur ce principe qu'est basé le système stéréo « M.S. » (M.S. signifie « Mid-Side »), imaginé par *Lauridsen*.

Les deux microphones sont placés l'un au dessus de l'autre afin de ne provoquer aucune différence dans le temps de transmission, lorsque la source sonore se déplace dans un plan horizontal autour du microphone.

Un des microphones possède un diagramme circulaire; c'est le microphone central « M ». L'autre, le microphone latéral « S », est doté d'un diagramme en « huit » et sera placé de telle façon que son axe, passant par le point de sensibilité minimum (axe +M à +M, dans la figure 2) soit dirigé vers le centre de la source sonore.

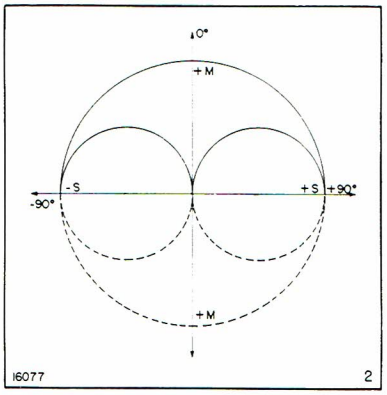


Fig. 2

L'amplitude et la phase du signal à la sortie du microphone à diagramme circulaire seront indépendantes de l'angle d'incidence du son.

Ce résultat qui aboutit à un signal monophonique exact nous est montré par la figure 3.

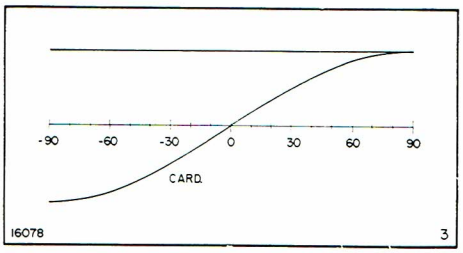


Fig. 3

Le signal fourni par le microphone à diagramme en huit fluctuera, par contre, selon l'angle d'incidence. Vu de la source sonore, il va de 0° (milieu) vers 90°, en suivant une fonction sinusoïdale avec une phase inversée pour la gauche par rapport à la droite (fig. 3). La combinaison et la conversion des signaux (mid-side) obtenus de cette façon en signaux stéréophoniques (gauche-droite) peuvent se faire par l'emploi de transformateurs.

En combinant les deux tensions M et S (fig. 2), au moyen d'un transformateur différentiel, opérant la somme M + S et la différence M — S (fig. 4, indications respectives « CENT » et « LAT »), nous obtiendrons les deux canaux stéréophoniques. Le transformateur employé sera, ainsi que l'indique la figure 4, d'un type spécial.

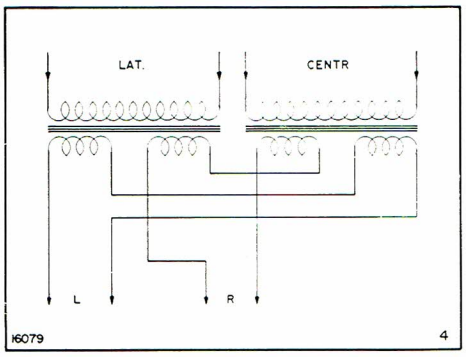


Fig. 4

Sur la figure 5, on observera les courbes des canaux de gauche et de droite après la transformation en signal stéréophonique. Une source de signal attaquant, sous 0°, le microphone, donnera, dans les canaux « somme » et « différence », une même tension (point de croisement sur les courbes de la figure 5).

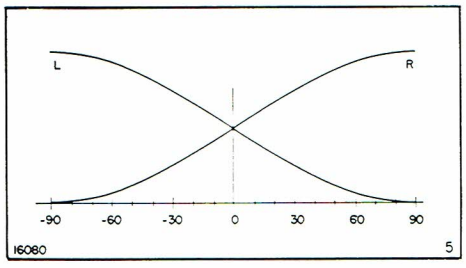


Fig. 5

Si nous branchons à ces canaux, deux haut-parleurs identiques, nous situerons la source sonore à un point médian entre les deux reproducteurs pour la position 0°. Pour la position —90° à gauche, seul le haut-parleur de gauche reproduira un signal, tandis que pour la position +90° de la source (à droite), seul le haut-parleur de droite se fera entendre. Le même raisonnement s'applique à toutes les positions intermédiaires.

De cette façon, l'ingénieur du son dispose de la possibilité de ne faire aucune restriction par rapport à l'enregistrement monophonique tout en gardant le maximum de possibilités pour l'enregistrement stéréophonique.

Ce système d'enregistrement est donc absolument « compatible ».

enregistrement stéréophonique sur bande magnétique

Bien avant l'avènement de la stéréophonie, on adopta déjà, pour les enregistrements magnétiques — surtout dans les appareils d'usage domestique ou semi-professionnel — la méthode à double piste. Ainsi, une inscription magnétique n'occupe que la moitié de la largeur de la bande et la durée d'enregistrement ou de reproduction d'une bande donnée se trouve doublée. Afin d'éviter une transmodulation entre les deux enregistrements, on laisse, entre ceux-ci, une étroite bande neutre. La hauteur effective de l'entrefer dans les têtes magnétiques d'enregistrement et de reproduction correspond aussi à la largeur d'une seule piste et la tête est disposée de telle façon que seule la piste inférieure est enregistrée ou lue. A la fin de la bande, on retourne les bobines et l'on dispose alors de la deuxième piste. La précision et la sensibilité des têtes magnétiques modernes sont telles qu'il nous est possible d'obtenir pratiquement les mêmes résultats avec double piste qu'avec piste unique. Les dangers de diaphonie — intermodulation entre-canaux —, ont été complètement éliminés.

Aussitôt que l'on envisagea l'enregistrement stéréophonique, on pensa à cette technique à double piste. Il suffisait d'ajouter à l'installation existante une deuxième tête permettant l'enregistrement et la lecture de la piste supérieure afin de pouvoir enregistrer et lire les deux pistes simultanément. Doubler la chaîne électronique ne posait évidemment aucun problème supplémentaire de principe. Ainsi naissait un équipement d'enregistrement et de reproduction stéréophonique, idéal et de qualité excellente, ne présentant que les désavantages d'un maniement relativement plus difficile et d'un prix assez élevé.

Aux débuts de cette technique, il ne fut pas possible de placer la tête supplémentaire au dessus de la tête existante. Il fallait la dispo-

ser à côté de la première, de sorte que l'enregistrement supérieur devait être légèrement déplacé par rapport à l'enregistrement inférieur, ce qui ne présente aucun inconvénient aussi longtemps que la bande est reproduite sur la même machine ou sur une machine présentant la même distance (dans le même sens) entre les têtes. C'est le système de la « bande décalée » ou « *staggered tape* » (fig. 6). Assez vite, les fabricants de têtes

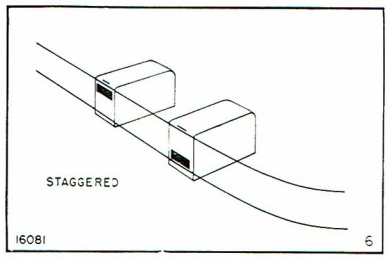


Fig. 6

magnétiques réussirent à construire des têtes doubles, qui se généralisent maintenant, présentant l'avantage de normaliser les enregistrements stéréophoniques sur bandes et permettent de rééquiper sans aucune difficulté les machines existantes pour la stéréophonie; on parle dans ce cas de « *in-line* », de « têtes alignées » (fig. 7).

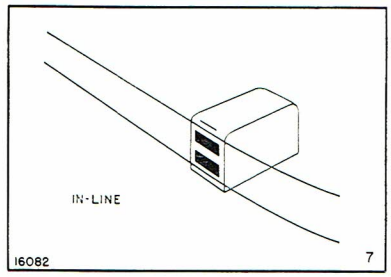


Fig. 7

Mais on est allé plus loin encore. Dans le but de récupérer la moitié de la durée d'enregistrement perdue par l'usage simultané des deux pistes, les constructeurs se sont attachés à produire des têtes permettant d'enregistrer *quatre pistes* sur une bande normale. Actuellement, quelques enregistreurs de ce genre ont déjà fait leur apparition sur le marché. Le désavantage d'un tel système réside surtout dans la difficulté de la manipulation. Toutefois, une solution élégante a été apportée à ce problème, grâce à l'emploi de « cassettes » mises au point par une firme américaine.

Ces cassettes contiennent un ruban préenregistré donnant une audition stéréophonique d'une heure à la vitesse de 9,5 cm/sec. Des mécanismes spéciaux utilisant ces cassettes fonctionnent de façon entièrement automatique. Il suffit d'y placer la cassette et toutes les autres opérations seront exécutées par la machine qui commence par reproduire la première partie du programme (pistes 1 et 3), puis la seconde (pistes 2 et 4) en renversant le sens du déroulement (fig. 8).

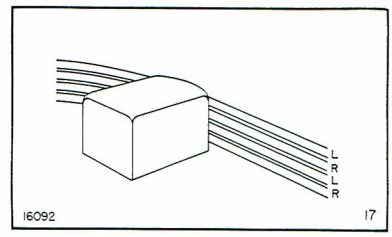


Fig. 8

Des cassettes à ruban non enregistré sont disponibles également pour des enregistrements personnels. Ce procédé nécessite évidemment l'acquisition d'un magnétophone d'un type spécial.

Le « cinémascope » fait usage d'enregistrements à trois et même à sept pistes (sur bande spéciale) afin d'obtenir une impression sonore en concordance avec son image de très grande largeur.

Dans certains studios d'enregistrement, on emploie des bandes à huit pistes pour enregistrer les grands orchestres. Ces pistes sont alors alimentées par huit microphones différents. On a ainsi la possibilité de retravailler plus tard, séparément et en l'absence de l'orchestre, certaines informations en y ajoutant un certain degré d'écho, en changeant légèrement les timbres, en faisant des mélanges, etc. On obtient alors des enregistrements présentant des effets qu'il serait impossible de créer directement avec l'orchestre.

Il est probable que, dans l'avenir, certains disques stéréophoniques seront abondamment pourvus de tels effets et rendront ainsi l'impression de réalité plus vivante encore tout en contournant de la sorte certaines imperfections qui demeurent dans la technique elle-même. Il sera peut-être possible de

reprendre également des enregistrements monophoniques et d'y ajouter des effets de stéréophonie; ce ne sera certainement pas de la « vraie » stéréophonie, mais si « l'arrangement » est suffisamment réaliste, le compromis ne sera pas dénué de valeur.

enregistrement stéréophonique sur disque

Presque vers la même époque, c'est-à-dire en fin 1957, quatre systèmes différents pour l'inscription de deux informations dans un seul sillon furent proposés qui rendent possible la production de disques stéréophoniques. Ces systèmes sont respectivement connus sous les noms suivants :

a) Decca « Vertical/latéral »

b) Westrex « 45/45 »

c) C.B.S.

d) Minter.

Puisque aussi bien l'industrie américaine que l'industrie européenne ont adopté le système Westrex, nous l'étudierons en premier lieu pour donner ensuite le principe des autres systèmes.

système westrex " 45/45 "

On simplifie assez souvent l'explication de ce système en disant ceci : un sillon présente deux parois et chaque paroi sert à l'enregistrement d'une information. Cette simplification ne peut suffire et est d'ailleurs inexacte puisqu'il est évidemment impossible de faire suivre par une pointe de lecture, simultanément, deux informations différentes sur deux parois opposées.

En réalité, la base du système est indiquée à la figure 9. Nous y voyons un burin de gravure, présentant un angle de 90° entre les faces coupantes. Ce burin est attaqué par deux forces se présentant à 90° l'une par rapport à l'autre et toutes deux à 45° par rapport à l'axe vertical. Ces forces impriment au burin des mouvements qui sont parallèles à ses faces coupantes. Les vibrations, provoquées par un des systèmes d'attaque, seront donc enregistrées sur une face du sillon; les autres, sur l'autre face. Ceci semblerait encore une fois nous ramener vers la simplification mentionnée plus haut.

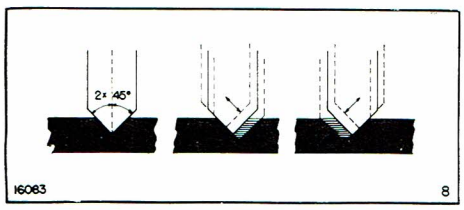


Fig. 9

Mais, au lieu de nous intéresser aux faces coupantes du burin, considérons maintenant la pointe du burin. A la lecture, l'aiguille aura en effet, tendance à suivre le fond du sillon tracé à la gravure, par le burin. Ce seront les mouvements de la pointe de l'aiguille qui détermineront le programme pour chaque canal. Afin de comprendre le processus, nous allons constater le résultat de différentes combinaisons d'informations.

a) Commençons par le cas le plus simple et supposons que les deux canaux reçoivent deux informations semblables (phase et amplitude identiques). Les mouvements du burin graveur et de l'aiguille lectrice prendront alors la forme d'une vibration latérale (fig. 10).

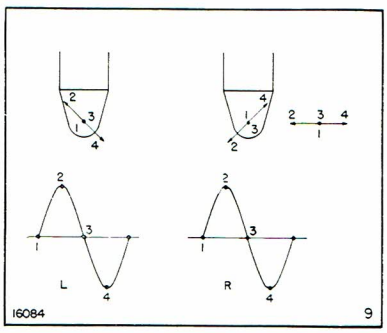


Fig. 10

b) Si les deux signaux d'entrée demeurent égaux en amplitude (et en fréquence) mais sont de phase exactement opposée, nous devrons obtenir des tensions de sortie également exactement opposées. Le cône d'un des deux haut-parleurs devra donc faire un mouvement vers l'arrière au moment où le cône de l'autre fera un mouvement vers l'avant. Le mouvement correspondant du burin et

donc du fond du sillon se fera alors dans le sens vertical, ainsi que le montre la figure 11.

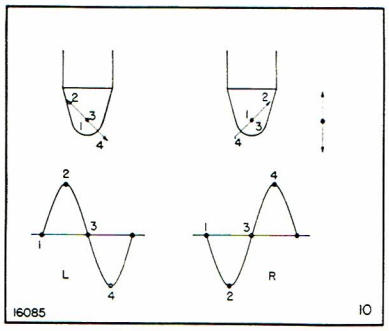


Fig. 11

c) Si les deux signaux présentent la même fréquence et une phase identique, mais si l'amplitude du signal d'un canal est plus forte que celle de l'autre, nous obtiendrons un mouvement de sens généralement latéral, mais présentant un petit angle par rapport à l'axe horizontal, angle qui sera toujours plus petit que 45° (fig. 12).

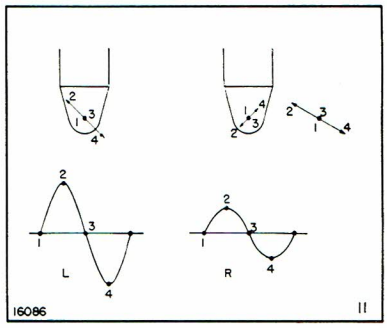


Fig. 12

d) Pour des signaux de même fréquence sur les deux canaux, mais de phase différente, nous obtiendrons d'autres figures, dont nous ne donnerons que quelques exemples. Ainsi, nous aurons, sur la figure 13 un cercle parfait

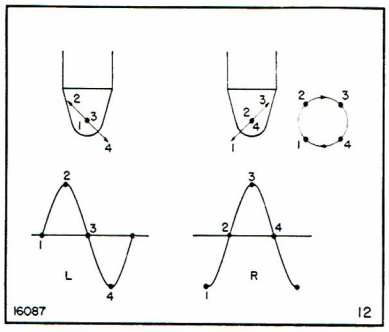


Fig. 13

pour deux signaux de mêmes fréquence et amplitude mais déphasés de 90°. Dans d'autres cas, nous constaterons la formation d'ellipses. Ainsi, dans le dernier exemple de la figure 14, les deux signaux de fréquence identique diffèrent en phase et en intensité.

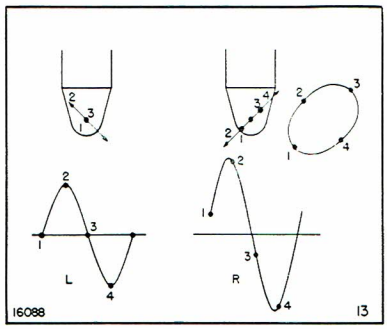


Fig. 14

Dans les exemples donnés, nous avons simplifié le problème en n'envisageant qu'une fréquence unique en un temps déterminé. Dans la pratique, le programme à enregistrer présentera des variations infinies de fréquences, d'amplitudes et de phases, de sorte que le burin et l'aiguille de lecture auront à tracer toutes les possibilités de figures comprises entre les deux mouvements simples suivants : le mouvement uniquement latéral et le mouvement uniquement vertical.

Ce qui précède nous permet donc de juger de l'allure du sillon inscrit et de ce qu'il représente. Nous n'entrerons pas ici dans d'autres détails, qui jouent cependant un rôle important dans le processus mécanique de l'enregistrement, comme par exemple, les distorsions par diaphonie, par effet Döppler, etc. Citons, pourtant, un avantage essentiel du système Westrex. En gravant les deux informations avec une égale profondeur maximum de modulation et de façon symétrique par rapport à l'axe du sillon, aucun des deux canaux n'est avantagé dans la gravure « 45/45 ». Cette symétrie n'est pas réalisable avec le système « vertical/latéral », qui fait l'objet du paragraphe suivant.

système decca " vertical/latéral „

Cette méthode n'est pas nouvelle, mais, en fin 1957 un des plus grands éditeurs britan-

niques de disques en fit usage pour ses enregistrements stéréophoniques expérimentaux.

L'information d'un canal est gravée par le burin dans le sens vertical; celle de l'autre, dans le sens latéral. En principe, nous pourrions détailler les mouvements du burin comme nous l'avons fait pour le système Westrex. La différence essentielle se trouve dans le fait qu'ici la gravure des deux informations ne s'opère pas symétriquement. De plus, les spécialistes se rappelleront les difficultés rencontrées avec la gravure verticale, employée jadis pour les disques monophoniques, mais délaissée depuis, par suite de la distorsion très élevée inhérente à ce système. En descendant, la pointe triangulaire du burin doit enlever une quantité de matière d'autant plus importante que le burin s'enfonce plus profondément (fig. 15) et il est clair que la puissance requise sera environ

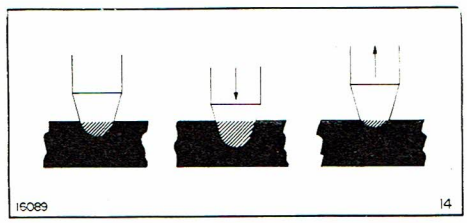


Fig. 15

proportionnelle à la quantité de matière à enlever. C'est la distorsion harmonique qui est surtout à craindre ici comme dans les anciens enregistrements qui étaient appelés « *Hill and Dale* » (littéralement : « à montagnes et vallées »). Dans l'enregistrement latéral, la quantité de matière à enlever par le burin reste constante et ne provoque donc pas de distorsion sérieuse.

En toute justice, il faut cependant dire que, dans l'état actuel de la technique (burin à contre-réaction, avec ou sans pré-chauffage), une gravure verticale est possible dans des conditions notablement meilleures qu'avant. D'ailleurs les disques présentés par « Decca » à titre de démonstration de son système de gravure « vertical/latéral » ne souffraient certainement pas d'un taux de distorsion inadmissible.

Un autre désavantage de ce système est la sensibilité au bruit de moteur dit « rumble » (ronflement provoqué par les vibrations du moteur, qui se propagent surtout dans le sens vertical) qui est beaucoup plus élevée dans le canal vertical que dans le canal latéral. Ceci justifie encore la préférence marquée au système Westrex. Evidemment, le mouvement du lecteur dans ce dernier, peut, lui aussi, être décomposé en composantes latérale et verticale. Il est donc également plus sensible au « rumble » qu'un enregistrement à monocanal latéral mais l'effet se fera sentir, ici, à parts égales, dans les deux canaux. D'autre part, le système « vertical/latéral » n'est pas plus « compatible » que le « 45/45 » puisqu'il faut effectuer la lecture au moyen d'une cellule spéciale. En effet, les anciennes cellules de lecture monophoniques ne possèdent qu'une très faible souplesse verticale (intentionnellement d'ailleurs, en tant que mesure d'insensibilité au « rumble », vertical lui aussi) ne permettant donc pas à la pointe de lecture, de suivre les mouvements verticaux inhérents au procédé.

système C. B. S.

Avant d'aborder ce système, il nous faut remarquer que la façon dont C.B.S. a abordé la question de la stéréophonie, est particulièrement sympathique. Pour les deux systèmes précédents, le système 45/45 et le système vertical/latéral, il faut nécessairement prévoir l'emploi d'une nouvelle cellule de lecture.

La C.B.S. a essayé de trouver une solution dans laquelle l'emploi d'une cellule ordinaire serait possible. De plus, ce système permettait d'obtenir une même durée de reproduction qu'un disque L.P. ordinaire et cela sans diminution de la profondeur de modulation (qui détermine la largeur des sillons). De ce fait, il était possible de garder l'excellent rapport signal/bruit, que l'on a atteint pour les disques microsillons.

C.B.S. n'a pu trouver une solution à ces problèmes qu'en faisant quelques concessions au sujet de la théorie stéréophonique, ce qui a permis aux adversaires de parler de pseudo-stéréophonie.

Toutefois, le système C.B.S. présente quelques aspects très séduisants, qui en rendent l'étude intéressante. Il ne serait d'ailleurs peut-être

pas impossible d'introduire quelques-uns de ces détails dans le système Westrex, sans pour cela en changer la base fondamentale. Le développement fut fait à partir du disque L.P. existant à sillons extra-fins. Les conditions posées étaient : possibilité de jouer le disque avec une cellule normale et maintien des caractéristiques des disques L.P. par rapport à la durée de reproduction, la profondeur de modulation et le rapport signal/bruit. Recherchant la solution aux problèmes posés, les techniciens de la C.B.S. commencèrent par une étude de l' « effet de pincement » (« pinch effect »). C'est un phénomène qui peut provoquer, avec un disque normal, pendant la course de l'aiguille dans le sens latéral, un déplacement en hauteur d'environ 0,3 mil (le mil est un millième de pouce, soit 0,0254 mm); l'ampleur de ce déplacement dépend de la profondeur de modulation, de l'angle de modulation Q et du rayon de courbure de la pointe. C'est ce que l'on peut voir sur la figure 16. Si la construction de la

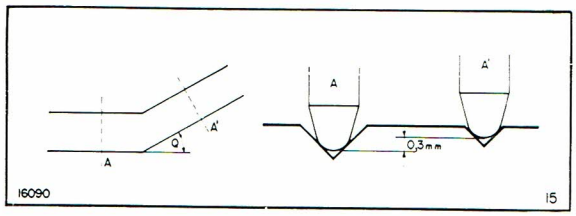


Fig. 16

cellule est telle que ce déplacement n'est pas possible (par suite d'une rigidité verticale trop forte de l'aiguille), la reproduction sera déformée et le souffle très fort. Dans tout ceci, il faut en plus tenir compte de l'élasticité de la matière du disque. La pointe de lecture d'un bon lecteur pour disques-monophoniques doit se mouvoir de ± 0,2 mil, soit au total 0,4 mil autour de sa position de repos, si l'on veut obtenir une reproduction sans distorsion et sans souffle. Les constructeurs de cellules ont pu répondre à cette exigence et, en général, 0,4 mil est la limite extrême de la mobilité verticale de l'aiguille dans une cellule normale.

Ceci prouve, une fois de plus, qu'une cellule ordinaire serait inutilisable pour un système avec gravure horizontale ou latérale d'une information et gravure verticale de l'autre canal. A la lecture, seule l'information latérale serait reproduite.

Dans le système C.B.S., les informations des deux canaux sont combinées dans un signal-somme et un signal-différence. La somme : S = L + R; la différence : D = L — R. L'information-somme est gravée dans le sens latéral et contient donc toutes les informations contenues dans un disque L.P. ordinaire. Le signal-différence contient alors exclusivement les informations qui se rapportent directement et essentiellement à la reproduction stéréophonique. Sans nous étendre plus longuement sur le système de gravure verticale/latérale de la C.B.S., il est clair que la modulation verticale ne pourra dépasser ± 0,2 mil, si l'on veut reproduire ce disque au moyen d'une cellule de lecture ordinaire. Sachant que, dans une gravure latérale classique, la modulation présente des pointes d'environ ± 1 mil, on comprendra que ce canal vertical contiendra une modulation atténuée d'un facteur 5. A première vue, il serait donc impossible d'obtenir ainsi une reproduction stéréophonique parfaite. Mais le son stéréophonique a fait l'objet d'études poussées et on a pu constater qu'en général, l'énergie rayonnée par les haut-parleurs était plus grande pour le signal-somme S = L + R que pour le signal-différence D = L — R. Ceci prouve déjà que le signal-différence, déterminant essentiellement le caractère stéréophonique de la reproduction, exige une profondeur de modulation moindre que le signal-somme reproduit dans la gravure latérale.

A la gravure, la C.B.S. fit appel à un « cerveau électronique », le ASRA (*A*utomatic *S*tereophonic *R*ecording *A*mplifier). Cet ASRA est branché dans le canal-différence et élimine de façon élégante une pointe éventuelle dans ce canal (D = L — R), de sorte que les signaux inscrits ne dépassent jamais la profondeur de modulation disponible. Un schéma de principe de ce système est donné à la figure 17.

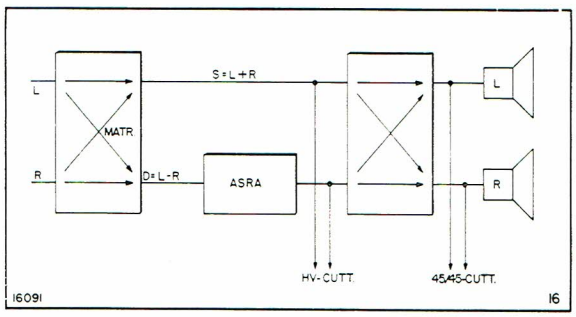


Fig. 17

Dans les disques C.B.S., l'amplitude maximum de la modulation verticale est d'environ 1/8 de l'amplitude latérale. Les caractéristiques de limitation de cet « ASRA-box » ne permettent naturellement jamais un enregistrement stéréophonique idéal, mais les promoteurs du système prétendent qu'il fut impossible de constater une différence réelle entre un disque et l'enregistrement original stéréophonique sur bande magnétique. Admettons encore que ces essais d'écoute peuvent être assez subjectifs, mais il faut pourtant constater certains avantages du système C.B.S. :

a) La modulation latérale et le caractère de modulation restent égaux à ceux d'un disque L.P. ordinaire.

b) La gravure minime verticale n'augmente pas la largeur des sillons, assurant donc une durée d'enregistrement identique à celle d'un disque L.P. standard.

c) Une reproduction monophonique peut se faire avec une cellule ordinaire puisque la souplesse verticale de l'aiguille de ces cellules est suffisante.

d) La profondeur de modulation verticale n'est que de 1/8 de la profondeur latérale. Les tensions de sortie de la cellule stéréophonique seront donc dans le même rapport. Il s'en suit que le canal-différence, ou le canal de droite ne devra avoir théoriquement qu'une puissance de $1/8 \times 1/8 = 1/64$ la puissance du canal de gauche. Il suffira donc d'ajouter un amplificateur très simple, d'un prix très abordable.

e) La gravure étant très faible dans le sens vertical, ce disque sera moins sensible au « rumble » qu'un autre disque stéréophonique.

Tout ceci nous prouve qu'il serait, en effet, peut-être très intéressant d'étudier la possibilité de combiner certains aspects du système C.B.S. au système Westrex adopté, même s'il fallait, pour cela, faire quelques concessions au détriment de la théorie stéréophonique pure, telle qu'elle a été suivie rigoureusement dans le système Westrex avec tous les désavantages qui en découlent (durée moindre, sensibilité plus élevée au « rumble », etc.).

le système stéréophonique minter

Ce système, également de provenance américaine, utilise, à côté d'un canal B.F. normal, une porteuse supersonique à modulation de fréquence, qui contient la seconde information. Un canal est gravé dans le sens latéral suivant le système absolument classique, tandis que l'autre canal est modulé en fréquence sur une porteuse de 25 kHz. Cette porteuse passe également en gravure latérale sur le disque et varie sous l'effet de la modulation entre 20 et 30 kHz.

La cellule de reproduction doit présenter une très large bande de reproduction allant au moins jusqu'à 30 kHz. Certaines cellules travaillant suivant le principe de la vélocité constante (par ex. les P.U. magnétiques), semblent répondre à cette condition. Une condition supplémentaire serait un rayon de courbure de la pointe de 0,5 mil, quoiqu'il serait déjà possible de travailler avec un rayon de 0,7 mil.

L'information normale B.F., gravée latéralement, comprend la fréquence-somme des deux canaux stéréophoniques. La fréquence-différence est appliquée à la porteuse. Ceci permet donc de reproduire un disque Minter en monaural au moyen d'une cellule de lecture ordinaire puisque, comme dans le système C.B.S., le signal-somme contient l'information complète de l'enregistrement. Le système Minter ne contenant aucune composante verticale, il est tout aussi peu sensible au rumble qu'un disque ordinaire. Le signal-différence, à la sortie de la cellule, passe dans un montage assurant la détection et la préamplification. Ce montage contient généralement trois tubes et remplace le préamplificateur-correcteur ordinaire. Ce système est vraiment révolutionnaire, mais nous n'oserions pas dire qu'il soit « commercialement compatible ». En effet, les cellules, dont la courbe de réponse atteint aisément les 30 kHz, sont plutôt rares et ne se trouvent certainement pas dans la catégorie à prix modique. De plus, ces cellules, généralement du type magnétique et/ou dynamique, ne donnent qu'une tension de sortie très faible, nécessitant ainsi un préamplificateur relativement cher (deux tubes au moins) à ajouter au montage détecteur-préamplificateur propre au système Minter.

Pourtant, il faut reconnaître l'ingéniosité de ses réalisateurs qui ont su faire appel à toutes les ressources de la technique moderne pour créer un système qui est certainement excellent, bien que les chances de sa mise en pratique paraissent minimes, surtout pour des raisons économiques.

en résumé :

Le système « Westrex 45/45 » est donc universellement adopté, ce qui signifie entre autre que :

1. *Les faces des sillons se trouvent à 90° l'une par rapport à l'autre;*
2. *Ces faces se trouvent à 45° par rapport à la surface du disque;*
3. *Le canal de droite correspond à la face extérieure du sillon;*
4. *Des signaux en phase provoquent une modulation latérale du sillon;*
5. *Une modulation latérale provoque des signaux acoustiques en phase sur les haut-parleurs;*
6. *Le rayon de courbure de la pointe lectrice est de 0,5 à 0,75 mil, soit de 12 à 20 μ;*
7. *L'arrondissement du fond du sillon est au maximum de 0,2 mil (5 μ).*

Ces conclusions furent tirées à la convention de la I.R.E. à New-York au printemps 1958. Des précisions supplémentaires y furent également données par M. S. Corrington de la R.C.A. partant de certaines données obtenues au moyen d'un cerveau électronique. On admet généralement que le rayon de courbure de la pointe lectrice et que la profondeur de modulation doivent être moindres pour les enregistrements stéréophoniques. Un compromis excellent semble se trouver entre 0,6 et 0,7 mil.

On détailla également les exigences à poser aux mécanismes de reproduction. La sensibilité au « rumble » doit être moindre par suite de la sensibilité verticale plus élevée dans la cellule. De cette sensibilité, découle également la nécessité de prévoir un découplage acoustique entre les haut-parleurs et la cellule de lecture. Les souplesses verticale et horizontale doivent être augmentées et la force d'appui diminuée. Il faut même réduire la capacité du câblage afin d'éviter une diaphonie entre les canaux.

Terminons ce chapitre par quelques conclusions pratiques au sujet de la reproduction de disques stéréophoniques :

1. La reproduction stéréophonique exige l'achat d'un bon pick-up ou d'une bonne cellule stéréophonique. Des détails comme le rayon de la pointe, les masses et le poids sont très importants à considérer;
2. La construction des tourne-disques et des changeurs exige un soin tout particulier;
3. La construction des enceintes acoustiques et le placement des reproducteurs devront être étudiés très soigneusement;
4. En dehors des commandes qui existent déjà sur chacun des deux amplificateurs identiques, nous trouvons quelques nouvelles « fonctions » : mono, stéréo, stéréo inverse, balance et phase H.P.

Seule, une installation répondant à toutes ces exigences pourra être qualifiée de « compatible ».

la radiodiffusion stéréophonique

L'idée de l'émission stéréophonique est plus ancienne encore que celle de l'enregistrement. Malgré l'absence d'enregistrements stéréophoniques, la radiodiffusion a été en mesure de réaliser ce genre d'émission depuis la découverte du principe même. Presque partout des expériences eurent lieu en faisant appel à des émissions « en direct ».

Au début, on utilisa exclusivement des émetteurs A.M. Plus tard, des essais eurent lieu aux Etats-Unis avec des combinaisons AM/FM. et depuis 1954, certaines sociétés de radiodiffusion donnent régulièrement des émissions stéréophoniques. Depuis quelques

années d'ailleurs, il était possible d'utiliser à cette fin des enregistrements magnétiques à double canal.

Pourtant, le grand public ne s'y intéressait guère et ce ne fut qu'en 1958 que la masse se vit vraiment confrontée avec cette nouvelle technique grâce au disque stéréophonique. Depuis ce moment, l'intérêt ne cesse de croître et il est à prévoir que les entreprises commerciales de radiodiffusion se hâteront de servir à leurs auditeurs cette nouveauté. Inévitablement, les organismes plus ou moins officiels se verront contraints à suivre cette voie. De toute façon, il est plus que probable que nous aurons un jour la radiodiffusion stéréophonique et il n'est donc pas inutile de regarder ce problème d'un peu plus près.

Du point de vue économique, l'emploi de deux émetteurs ne sera jamais logique, sauf peut-être dans quelques régions de notre globe où la densité des stations d'émission est encore relativement faible, comme, par exemple, en Australie. Une autre solution, plutôt locale, pourrait être trouvée dans une combinaison d'une émission de radio et d'une distribution par fil. Mais ce ne seront là que des exceptions, d'autant plus que la solution théorique du problème est déjà trouvée sous la forme de la « *FM multiplex* ».

Les avantages de la FM multiplex par rapport à l'ancien système AM/FM sont multiples et il n'est d'ailleurs pas inutile de signaler que ce système fonctionne déjà depuis des années aux Etats-Unis, quoique à d'autres fins. La radiodiffusion FM normale fournit, en effet, à des restaurants, des usines, des grands magasins, etc., une musique d'ambiance suivant un système d'abonnements. Les intéressés reçoivent, contre payement, la disposition d'un récepteur FM multiplex qu'ils peuvent brancher sur leur système de « public address » par lequel passera alors un programme spécial, sans publicité, retransmis en même temps que le programme normal, mais inaudible dans un récepteur FM normal.

La qualité technique est excellente et c'est seulement dans les récepteurs de moindre qualité que l'on pourra remarquer une légère diaphonie entre le programme normal et le programme « d'ambiance », complètement différent.

Pour une reproduction stéréophonique, cette diaphonie ne peut être considérée comme gênante, d'abord parce que la captation même, au moyen de deux ou plusieurs microphones, ne provoque pas une séparation absolue entre les canaux de gauche et de droite (ce ne serait d'ailleurs pas souhaitable); ensuite, parce qu'il faut tenir compte du fait que l'isolement entre canaux dans les cellules lectrices stéréophoniques est d'environ 20 dB.

Une certaine diaphonie dans l'émetteur, le récepteur et les deux amplificateurs B.F. peut donc être tolérée jusqu'à une certaine limite. Bien qu'il n'y ait pas encore une normalisation à cet égard, on pourrait proposer une valeur de 30 à 32 dB comme limite. Dans le système FM multiplex, la diaphonie reste certainement largement en dessous de cette limite et ne provoquera donc aucune difficulté.

Le système repose sur des principes courants de la FM et permet d'obtenir, pour les deux canaux, une bande relativement large et à faible souffle quoiqu'un seul émetteur et un seul récepteur suffisent.

Comparons à cela, les principaux désavantages des systèmes AM/FM ou AM/AM :

a) Il faut deux émetteurs et en principe deux récepteurs (éventuellement combinés dans un seul appareil, mais double quand même);

b) Les différences de puissances, assez fréquentes (soit à l'émission, soit par suite d'effets de fading), sont intolérables en stéréophonie;

c) Une émission en AM ne permet, suivant les conventions en vigueur, que la transmission d'une bande passante ne dépassant pas 4,5 kHz;

d) Les parasites industriels présentent généralement un caractère de modulation en amplitude et peuvent influencer très désagréablement une émission en AM;

e) La profondeur de modulation des deux émetteurs peut être différente ou peut varier. Dans les émissions FM multiplex, les deux canaux sont retransmis par un seul émetteur et une seule antenne. Le rapport entre les profondeurs de modulation des deux canaux est contrôlé par l'émetteur et ne changera pas au cours de l'émission. La caractéristique de fréquence des émissions en FM est excellente pour les deux canaux et ces émissions souffrent très peu des parasites industriels.

Comme on peut prévoir que les récepteurs FM multiplex, qui seront mis en vente dans le public, seront employés presque exclusivement à la réception stéréophonique, le réalisateur de ces appareils aura à étudier moins soigneusement le convertisseur multiplex, ce qui réduira le prix de ces appareils. C'est, en effet, ce convertisseur qui détermine le taux de diaphonie, qui, comme nous l'avons vu, joue dans la stéréophonie, un rôle beaucoup moins important que dans les applications actuelles du système multiplex.

Avant de pouvoir généraliser les émissions en multiplex, il faudra encore parvenir à un accord officiel au sujet de la sous-porteuse. Actuellement, on utilise, aux U.S.A., les sous-porteuses de 41 kHz et de 67 kHz, ce qui nous permet de constater qu'il est même possible d'émettre plus de deux signaux par un même émetteur. Pour la stéréophonie, une seule sous-porteuse suffit. Afin d'éviter une diaphonie trop forte, cette porteuse auxiliaire ne peut pas être située trop près de la fréquence centrale. D'autres considérations posent, d'autre part, la condition de ne pas la placer trop loin non plus. Une normalisation à 50 kHz semble, dans ce sens, constituer un très bon compromis.

Il nous faut signaler cependant que l'emploi d'une sous-porteuse oblige d'atténuer le signal B.F. du canal principal. Théoriquement, c'est une perte. En pratique pourtant, le souffle d'un récepteur FM moderne est tellement faible et la sensibilité si élevée que cette réduction perd sa signification devant les avantages du système.

Jetons maintenant un coup d'œil sur un récepteur « multiplex ». Un canal de l'enregistrement stéréophonique utilise le canal principal de l'émetteur FM et passe finalement par l'intermédiaire du filtre de désaccentuation à un des amplificateurs B.F. Nous savons déjà que l'enregistrement ou la captation comprendra des fréquences atteignant environ 15 000 Hz et l'on peut donc couper, déjà à l'émetteur, les fréquences supérieures. Considérons maintenant la sous-porteuse. En l'absence de signaux, celle-ci demeurera stationnaire pour commencer à se déplacer autour de la fréquence de référence de 50 kHz, dès l'application d'une modulation. Cette sous-porteuse augmente, en fait, la largeur de bande, mais comme les fréquences porteuses ordinaires des émissions FM se trouvent dans la bande II (vers les 100 MHz), ceci n'est pas une difficulté majeure, puisque les récepteurs y présentent de larges bandes passantes.

La porteuse auxiliaire de 50 kHz peut être considérée, en bloc avec le canal B.F. principal, comme une seule modulation B.F. et elle sera d'ailleurs traitée comme telle. C'est ce que nous illustrons par la figure 18. Il

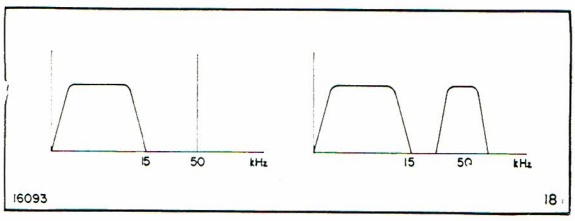


Fig. 18

faudra donc finalement prendre des mesures afin de séparer ces deux signaux de la modulation B.F. obtenue.

Le canal B.F. principal (10 à 15 000 Hz) suivra le chemin normal vers le filtre de désaccentuation, mais la constante de temps RC de ce filtre sera calculée de telle façon que la sous-porteuse, sur laquelle est modulée la deuxième information, ne pourra pas passer ce filtre. Le prélèvement de la sous-porteuse s'opérera donc avant ce filtre et, de là, le signal passera au convertisseur multiplex. Notons d'ailleurs, en passant, que certains « tuners FM » possèdent déjà une sortie pour le branchement d'un convertisseur multiplex (marqué MX à la figure 19). Ceci se fait à travers un ensemble de filtres dont nous donnons un exemple à la figure 19.

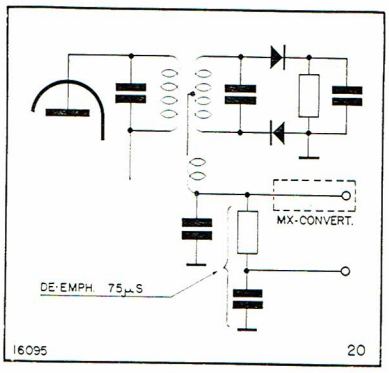


Fig. 19

Dans ce convertisseur, nous trouverons des circuits qui ressemblent d'assez près à un

ampli MF pour FM, suivi du limiteur et du démodulateur. La fréquence « MF » y sera 50 kHz (la sous-porteuse). Le démodulateur FM donnera finalement le second signal B.F. En pratique, la conception du convertisseur MX peut présenter de nombreuses variantes. Après le filtre multiplex, qui peut être constitué de différentes manières (par exemple : le circuit L.C. de la figure 20), nous trouve-

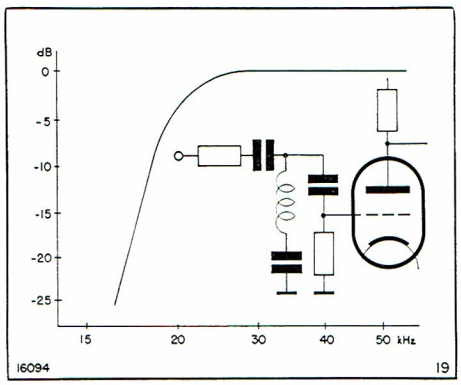


Fig. 20

rons un étage amplificateur. Comme la fréquence porteuse a une valeur très basse, cet étage pourra être constitué d'une ou de deux triodes à couplage L.C. ou R.C., avec ou sans contre-réaction. Dans d'autres réalisations, on utilisera une pentode. Normalement cet étage est suivi d'un filtre L.C. multiple ou d'un filtre de bande. Eventuellement, on ajoutera d'autres filtres après le tube limiteur, avant la détection. On y emploie toute une gamme de montages démodulateurs, depuis le détecteur de rapport jusqu'au détecteur-compteur d'impulsions. Ce dernier montage surtout rencontre un sérieux succès dans les convertisseurs multiplex. Il se peut, en effet, que l'on supprime à l'émission, la sous-porteuse pendant les pauses. On peut ajouter alors, au convertisseur, un montage très simple mettant hors service le multivibrateur-détecteur FM lors de la disparition de la sous-porteuse. On élimine ainsi la diaphonie du canal principal sur le canal auxiliaire, diaphonie qui serait surtout gênante pendant ces moments de silence. Répétons encore que ce problème ne se pose pas pour les convertisseurs destinés uniquement à la réception stéréophonique, de sorte qu'il peuvent être fortement simplifiés.

Par rapport à un tuner AM/FM ordinaire (sans les étages B.F.), l'ajoute d'un convertisseur MX représenterait une augmentation du prix de revient d'environ 10 %.

(A suivre)