

LE HAUT-PARLEUR

NUMÉRO
SPÉCIAL
132 PAGES

N° 1201 ★ 6 MARS 1969

Algérie : 5,75 dinars
Maroc : 5,75 dirhams
Belgique : 66 F.B.
Italie : 1250 lires
Suisse : 7 F.S.

5^{F.}

SAISON
69

Hi-Fi stéréo

TOURNE-DISQUES
ÉLECTROPHONES
CHAINES Hi-Fi
MAGNÉTOPHONES



fi

TOUS LES NOUVEAUX MODÈLES AVEC LEURS CARACTÉRISTIQUES ET LEURS PRIX

HAUTE FIDÉLITÉ

ET

CHANGEURS DE DISQUES

Il y a quelques années, c'est avec raison que les amateurs de haute fidélité n'écoutaient pas leurs disques sur un changeur de disques. Aujourd'hui, ils auraient tort. Il est évident que si leur foi et leur recherche de la qualité absolue leur permettaient d'accepter des tourne-disques munis de bras très élaborés, sans aucune fonction secondaire, ceux qui aimaient autant leur confort que la haute fidélité, refusaient de se contenter de ces appareils et recherchaient des changeurs de disques de performances équivalentes. En fait, cette demande d'une clientèle de masse, pour des changeurs de disques de haute qualité a obligé les fabricants à se pencher très sérieusement sur les problèmes posés par la haute fidélité, à la technologie des changeurs de disques. Ont-ils résolu le problème et comment? Ce sont les questions auxquelles nous allons tenter de répondre.

En ce qui concerne la première question, on peut dire oui, avec certitude. Mais regardons comment se pose le problème. Supposons que vous ayez décidé d'écouter une intégrale de Figaro par exemple. Vous avez

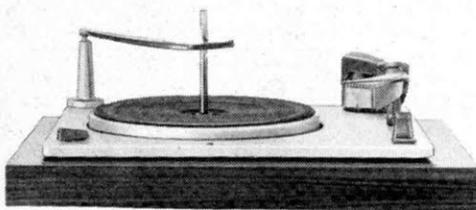


Fig. 1 — Changeur de disque grande diffusion avec bras en matière plastique et dispositif de réglage à pression de la pointe par ressort.

trouvé chez votre disquaire une excellente exécution comportant 3 disques 33 tours double face. Alliez-vous passer ces enregistrements stéréophoniques délicats sur un changeur, dont vous ne pouvez connaître la force exercée par la pointe sur le disque? Pas de question. Alors l'amateur acceptait les inconvénients des platines de haute qualité, c'est-à-dire absence de changeur et manque d'arrêt automatique, mais ayant des moteurs précis, des bras à résonance étudiée, des dispositifs anti-skating, des cellules phonocaptrices de haute qualité; des bras bien équilibrés, etc.



Fig. 2 — Le tourne-disque automatique GARRARD 95. On remarquera l'inclinaison à 45° du support de bras à double cardan. Ce tourne-disque peut être préréglé grâce au bouton de gauche pour fonctionner avec des disques de 25 cm. Le dispositif d'équilibrage des disques est escamotable, il s'enfonce dans le socle de la platine. Le bras carré est composé de métal et de bois.



Fig. 3 — Le GARRARD 75. Ce tourne-disque automatique ne diffère du 95 que par le bras constitué par deux tubes parallèles.

Est-ce à dire que les changeurs de disques actuels avec leur haute qualité remplaceront ces platines spéciales. Sûrement non et même sûrement jamais, car en fait, il est pratiquement impossible de monter sur un changeur automatique tous les raffinements exigés dans les platines professionnelles.

Le matériel professionnel est copié avec des composants un peu plus légers dans les platines semi-professionnelles, car le service qu'on demande à ces dernières est infiniment moins dur que celui demandé aux platines professionnelles. Ces dernières fonctionnent comme des tours ou des fraiseuses, presque 24 heures sur 24 et techniquement elles doivent répondre à des normes très sévères.

Mais certains amateurs ne voient pas la nécessité d'utiliser des changeurs de disques à cause de certaines méthodes utilisées par les éditeurs de disques. Reprenons par exemple notre intégrale de Figaro avec ses trois disques. Si on les place tous les 3 sur le changeur, on entendra successivement les faces impaires des 3 disques, soit la face 1, la face 3 et la face 5 de la partition, puis ensuite on retournera les 3 disques pour écouter les faces 2, 4 et 6. Logiquement, il faudrait que la face 3 soit la suite de la face 1 et la face 2 la suite de la face 5. Cela est très rarement fait, même lorsque les 3 disques ne sont pas vendus séparément. Donc, si l'on veut entendre la partition dans l'ordre, il faut passer les disques un à un et les retourner. Conclusion : inutile d'avoir un changeur de disques pour une telle audition.

Dans le cas de disques de variétés, en général tout le disque est chanté par le même artiste. On peut très bien aimer certains chanteurs pendant un temps limité et non pendant toute la durée du disque. On arrête donc le disque après le passage d'une ou deux plages. Puis il faut changer de disque. Il faut donc se lever pour manœuvrer le dispositif de rejet du changeur. Si l'on s'est levé, on peut aussi bien changer le disque sur un tourne-disque normal.

Vous allez nous dire qu'on peut se servir de disques 45 tours, mais peut-on les considérer comme des disques haute fidélité?

Toutefois ces petits désagréments n'ont rien à voir avec la technologie et l'on peut dire que les changeurs modernes répondent techniquement à tout ce qu'on est en droit d'attendre d'un tourne-disque haute fidélité. Nous avons fait le tour du marché et examiné les principaux appareils répondant à cette définition. Nous verrons comment les divers problèmes ont été résolus par chaque constructeur. Mais quels étaient ces problèmes?

LES QUALITES D'UN CHANGEUR DE DISQUES

Il fallait d'abord que la force d'appui soit comprise entre 0,5 et 4 g et que cette force très légère permette néanmoins un déclenchement très correct du mécanisme changeur de disques.



Fig. 4 — BSR UA 75. Cette platine a fait l'objet d'une étude complète dans le Haut-Parleur du 17 octobre 1968 (n° 1 182). Le support du bras permet à cet appareil de fonctionner avec des inclinaisons importantes.

Il fallait que les bras soient munis d'un dispositif anti-skating et que ce dispositif ne vienne pas gêner la fonction « changeur ».

Il fallait que les moteurs soient très sérieusement étudiés pour que malgré la puissance demandée lors du changement de disque, l'intensité du courant absorbé ne crée pas de champs magnétiques, parasites qui donneraient des inductions dans les cellules phonocaptrices magnétiques.

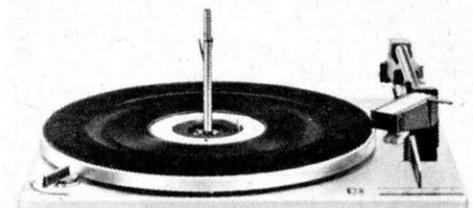


Fig. 5 — PERPETUUM EBNER. Malgré sa simplicité apparente ce tourne-disque automatique doit être classé dans la gamme des appareils haute-fidélité. On remarquera le porte disque à trois ergots ne nécessitant aucune pièce d'équilibrage.



Fig. 6 — DUAL 1019. La photographie montre ce tourne-disque automatique sans le dispositif porte disque qui se monte à la place de l'ergot central employé lorsque la platine fonctionne en tourne-disque simple. Sur d'autres figures on peut aisément voir les détails des bras et des supports de bras et du dispositif de commande manuelle de descente du bras.

Il fallait que le poids de 6 ou 8 disques ne vienne pas freiner le mouvement du plateau; que le bras soit très rigide, que sa fréquence de résonance soit située en dessous de la gamme audible, qu'on puisse aisément régler le poids de la pointe, etc. Enfin, il fallait que le changeur réponde à toutes les exigences d'un tourne-disque haute fidélité. Y répond-il ? certainement oui, mais ceci n'exclut pas que les platines professionnelles ou semi-professionnelles aient encore et auront toujours une supériorité sur les changeurs

Etant donné le mauvais renom du mot changeur, lié à ces mécanismes lourds, les constructeurs ont décidé de le remplacer par l'appellation « tourne-disque automatique ». Ce terme convient beaucoup mieux aux machines de haute précision, qui lorsque le mécanisme de changement de disque et de pose du bras aura été débrayé automatiquement, fonctionnent comme de simples tourne-disques haute fidélité.

Maintenant voyons quelques constructeurs qui ont résolu le problème, cette liste n'étant pas limitative.

Dans le haut de la gamme nous trouvons quatre marques : « Garrard - Elac - Dual - Perpetuum Ebner (P.E.) » dont les prix sont relativement élevés, mais justifiés par la haute qualité des composants. Dans la gamme des matériels de plus grande diffusion, nous trouvons « B.S.R. » dont les qualités sont également indéniables. Donc dans ces cinq marques on peut trouver des matériels auxquels on peut attribuer l'appellation haute fidélité,

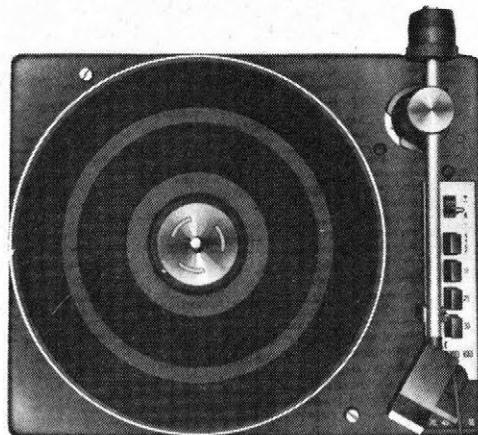


Fig. 7-8 — MIRACORD 610 et 630. Ces tourne-disques automatiques fabriqués par « E.L.A.C. » sont munis de tous les dispositifs nécessaires pour qu'on les classe dans les appareils haute-fidélité. On voit très nettement le dispositif porte disque à trois ergots qui supprime le compensateur d'équilibrage.

bien entendu lorsque les bras sont équipés de cellules phonocaptrices convenables. Mais les cellules phonocaptrices ne sont pas comprises dans cette étude, et tous les bras sont conçus pour recevoir toutes les cellules phonocaptrices.

Tous ces tourne-disques automatiques sont capables de travailler et d'assurer toutes les fonctions qui leur sont dévolues, avec des pressions de pointe de l'ordre de 1 g (autrefois il en fallait 8 au minimum). Les moteurs d'entraînement sont à induction ou à hystérésis, ou une combinaison de moteur synchrone ou asynchrone.

Autrefois, la maintenance d'un changeur était une véritable opération de spécialiste, dans les tourne-disques automatiques, les aciers les plus divers et les plus fins, les matériaux de la plus haute qualité, des composants de grande valeur et en particulier des roulements à billes hautement sélectionnés, permettent aux appareils des durées de vie extraordinaires, sans aucun souci pour leurs propriétaires. Quelques réglages sont toujours nécessaires, aussi des manuels extrêmement détaillés accompagnent-ils chaque tourne-



FIG. 8

disque. Les éléments qui commandent ces réglages sont directement accessibles, même lorsque la platine est encastrée dans un meuble.

Ces réglages concernent la pression de la pointe sur le disque, l'équilibrage du dispositif anti-skating, l'ajustage du système déposant la pointe sur le premier sillon.

RÉGLAGE DE LA PRESSION DE LA POINTE

Chez tous les constructeurs, ce réglage se fait par un contrepoids vissé à l'extrémité du bras opposée à celle portant la cellule phonocaptrice. Ces contrepoids sont pesés généralement avec des balances incorporées ou non dans la platine. L'axe du bras reçoit une pièce portant le contrepoids qui peut coulisser. On fait un réglage préliminaire en mettant le bras à l'équilibre, puis on fixe la position de cette pièce par une vis, au moyen d'une balance extérieure, on règle ensuite la pression de la pointe sur le disque en vissant ou en dévissant le contrepoids C. Dans la platine Miracord 610 et 630 de Elac, les platines Garrard SL75 et SL95, la platine Dual 1019 on trouve des systèmes analogues.

Comme le montrent toutes les figures représentant les dispositifs adoptés par la plupart des constructeurs, le réglage est très facile et peut être fait à tout moment par le possesseur de l'appareil.

LES BRAS

La première qualité d'un bras haute fidélité est d'avoir une longueur assez grande et une rigidité à toute épreuve. La question de longueur est importante, car de la longueur du bras dépend le rayon de l'arc de cercle

qui sera parcouru par la pointe de lecture dans l'exploration de la plage gravée. Plus le rayon sera grand, plus l'arc de cercle pourra être assimilé à une droite. La longueur minimale générale admise est de 215 mm, pour que cette condition soit remplie. Dans les platines strictement professionnelles ou semi-professionnelles, la longueur du bras atteint quelquefois 30 cm. Si l'on est aussi rigoureux sur ce point, c'est que les disques originaux sont graves suivant un rayon du disque, c'est-à-dire suivant une droite partant du centre du disque. Pour que la pointe de lecture retrouve les informations enregistrées sur les flancs droite et gauche du sillon au temps T, où elles ont été enregistrées, il faut que la pointe de lecture se trouve dans la même position. En partant d'un bras pivotant, cette condition n'est jamais remplie, mais en augmentant la longueur du bras on minimise les erreurs. Un fabricant américain Marantz a commercialisé un tourne-disque avec un bras se déplaçant sur glissière qui répond parfaitement aux conditions exigées théoriquement. Mais ce tourne-disque n'est pas un changeur. Les professionnels, comme l'O.R.T.F., les studios d'enregistrement, etc. ont tous adopté des bras de grande longueur.

Les bras doivent être très rigides et diverses solutions ont été adoptées, même dans les différents modèles d'un même constructeur. Cette grande rigidité est nécessaire pour renvoyer la fréquence de résonance propre du bras en dessous des fréquences audibles. Généralement, la fréquence de résonance des bras se situe en 8 et 10 Hz. Certains constructeurs ont adopté un bras de forme tubulaire en alliage d'aluminium-magnésium, ou d'un autre métal très rigide. D'autres ont adopté un double tube, Garrard sur sa platine SL95 a adopté un bras carré en bois et métal.

Le système de pivotement des bras a fait l'objet d'études très sérieuses et dès que la pointe est déposée sur le disque, le bras est

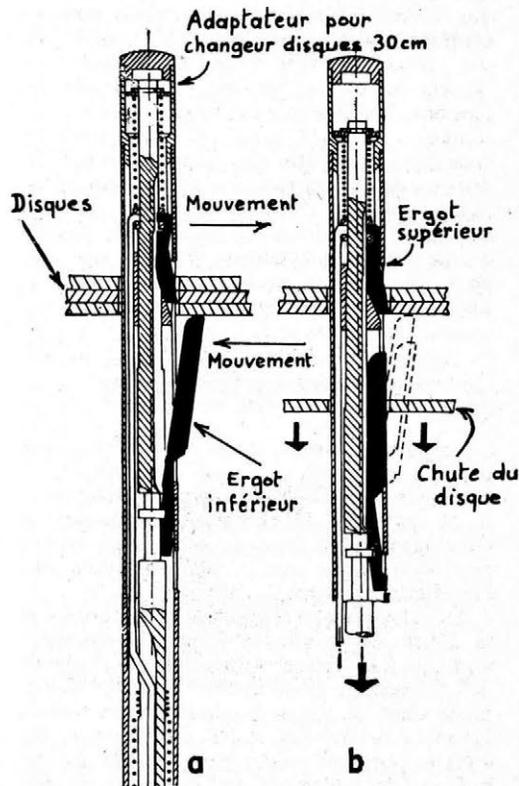


Fig. 9 — Détail du dispositif de maintien et de descente des disques dans un porte-disque à un seul ergot.

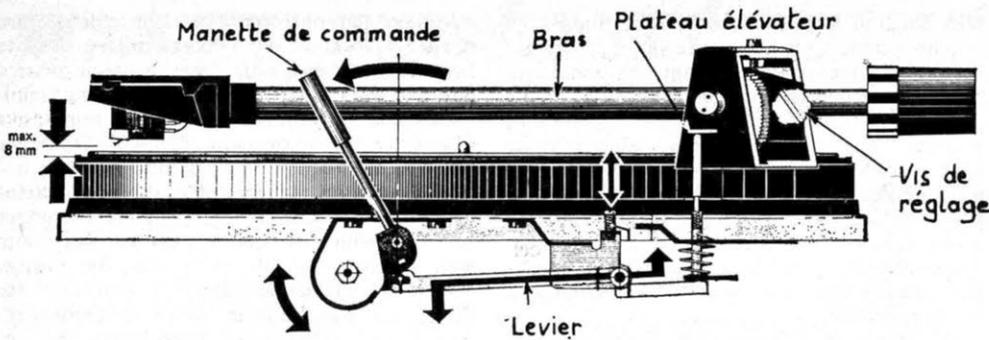


Fig. 10 - Vue en coupe de la platine DUAL 1019, montrant le dispositif de levage du bras.

libéré de tout le mécanisme changeur de disques jusqu'à la rencontre du sillon final. Le changeur se trouve donc pendant toute la lecture dans les conditions d'un tourne-disque normal et simple.

On rencontre dans les tourne-disques automatiques tous les systèmes couramment employés sur les platines professionnelles : pivots montés sur des roulements à billes de haute précision, montages à double cardan qui tolèrent des inclinaisons de 30° des tourne-disques, etc. Nous renvoyons nos lecteurs aux différentes figures qui illustrent cet article.

La mobilité verticale des bras, en termes techniques, la compliance verticale, a fait l'objet de soins particuliers, car cette fonction est très importante dans la lecture des disques stéréophoniques. Elle devient aussi très importante à cause du voilage des disques. Nous déplorons en effet hautement ces « voiles » extrêmement importants qui existent sur les disques actuels. Les soins apportés à l'enregistrement, à la gravure du disque original, aux divers traitements galvanoplastiques, au centrage des disques, etc. sont gâchés par des pressages faits trop rapidement, qui laissent se développer dans les disques des tensions internes qui déforment parfois les disques. Il est courant de constater des « voiles » de l'ordre du centimètre sur les disques du commerce vendus plus de 35 F. Les malheureux bras se déplacent de haut en bas à la cadence de rotation du tourne-disque ! Et si malheureux client, vous allez vous plaindre, on vous répondra que vous n'avez pas su conserver votre disque.

SYSTEME ANTI-SKATING

La plupart de nos lecteurs ont entendu parler de cette expression anglaise et savent à quoi elle correspond. Ils savent que par suite de la force centripète, la pointe de lecture appuie davantage sur le flanc du sillon situé vers le centre du disque que sur le sillon situé vers l'extérieur du disque.

DUAL a publié le résultat de ces études et la figure 14 montre la forme de distorsion apportée à la lecture, la figure 14 A montre la déformation de la sinusoïde due à ce phénomène dans le canal de droite, alors que la figure 14 B nous fait voir que la sinusoïde lue dans le canal de gauche n'a subi aucune altération. Les dispositifs anti-skating sont destinés à compenser la force centripète. Dans les changeurs comme dans tous les tourne-disques,

le réglage du dispositif anti skating doit être fait avec une précision rigoureuse. Tous les constructeurs ont leur solution, les uns utilisent un ressort compensateur, d'autres des contrepoids, d'autres des ressorts accompagnés de contrepoids. Les manuels livrés avec les platines donnent des indications très précises sur les réglages en fonction des pressions de la pointe sur le disque.

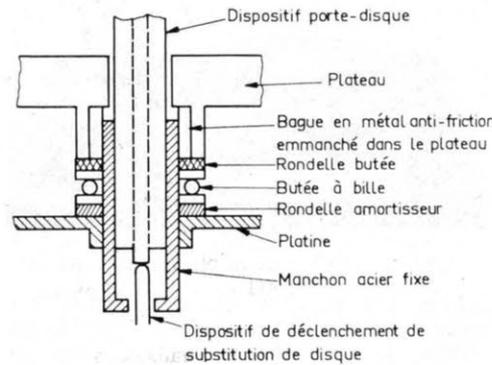


Fig. 11 - Vue en coupe montrant que le plateau est complètement indépendant de l'axe support de disque placé en son centre.

La notion de la force centripète est assez difficile à admettre pour l'esprit, car on ne voit pas facilement qu'elle est une conséquence directe de la force centrifuge qui, elle, est bien connue. Avec une comparaison, nous allons essayer de montrer comment la force centrifuge devient sous certaine condition une force centripète.

Dans un virage une automobile roulant à une vitesse donnée est soumise à une force centrifuge qui la chasse vers l'extérieur du virage. Considérons les conditions de cette expérience. Le sol est fixe, la voiture est mobile. Dans le cas du disque, la pointe, disons l'automobile est fixe et le disque disons le virage est mobile. Alors comme toutes les conditions sont inversées la force centrifuge est transformée en une

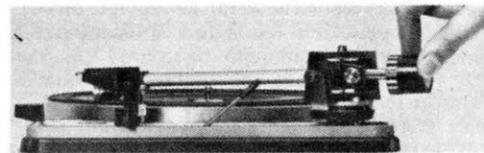


Fig. 12 - Réglage du contrepoids permettant l'ajustage de la pression de la pointe sur le disque (DUAL).

force centripète. On pourrait démontrer cela très aisément par les mathématiques ou plutôt par la mécanique pure, mais nous pensons que notre image un peu simpliste est plus parlante.

Mais, allez-vous dire, et le bout de papier placé sur un tourne-disque qui s'envolera vers l'extérieur ? Tout cela s'explique mathématiquement parce que la pointe de lecture ne dispose pas de point d'attache le rendant fixe. Mais, il est toujours possible de faire l'expérience suivante : mettez un disque de métal sur le plateau du tourne-disque (à moins que vous ne puissiez enlever le caoutchouc repose disque) puis mettez sur le plateau une petite pièce en métal que vous tiendrez avec un fil. Vous verrez que la pièce de métal se dirigera vers le centre, sous l'action de la force centripète.

Il ne s'agit pas ici de faire un cours de physique amusante, mais de faire une expérience valable mettant en évidence un phénomène qui peut se démontrer mathématiquement. Elle permet aux professionnels du son, qui sont plus souvent musiciens que mathématiciens, et aux amateurs de mieux comprendre l'intérêt des dispositifs anti-skating.

La figure 16 montre comment Elac a réalisé le dispositif anti-skating dans la platine « Miracord 50 ».

RELEVÉ-BRAS

Dans les tourne-disques automatiques, la question du relèvement du bras est aussi importante que dans les platines professionnelles ou semi-professionnelles. Ne parlons pas de la partie relèvement du bras spécifiquement liée au mécanisme du changeur, mais regardons plutôt sa fonction de descente de bras qui conditionne le dépôt en douceur sur la surface du disque. Ce dépôt en douceur doit se faire dans deux conditions : a) si la pointe est déposée par le dispositif de départ ou b) si la pointe est déposée par l'utilisateur. Dans les deux cas, la vitesse d'arrivée de la pointe sur le disque doit être la même. L'utilisation d'un piston se déplaçant dans une

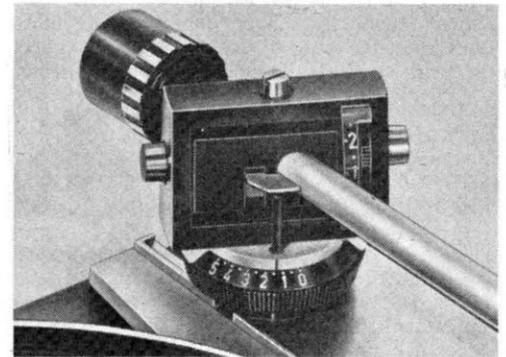


Fig. 13 - Détail du support de bras du tourne-disque automatique DUAL 1019.

huile de silicone assez épaisse est presque généralisée. Donc quelle que soit la vitesse à laquelle le levier de commande est relâché, la vitesse de descente de la pointe reste la même. Ces dispositifs de descente et de montée du bras sont indépendants de la position de la pointe sur la surface gravée du disque.

Dans les tourne-disques automatiques, des dispositifs spéciaux sont prévus pour que la

pointe soit toujours déposée sur le premier sillon, et ceci quel que soit le diamètre du disque 30-25 ou 17 cm, et quelle que soit la vitesse de rotation de la platine. Le réglage est fait très facilement par une vis généralement placée dans le socle de l'axe de rotation du bras. Certains tourne-disques automatiques sont munis de palpeurs qui viennent mesurer le diamètre du disque qui va être joué afin de

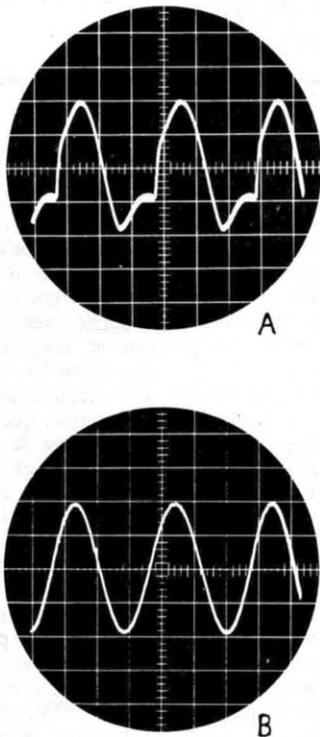


Fig. 14 — Oscillogrammes des sinusoïdes droite et gauche lorsque l'appareil n'est pas muni de dispositif anti-skating. On voit l'importante déformation du signal du canal de droite, due à la force centripète.

déterminer la position de descente de la pointe. Dans ces appareils, on peut placer des disques de différents diamètres dans le chargeur. Dans d'autres, une manette permet une présélection et tous les disques placés dans le chargeur doivent avoir le même diamètre.

MOTEUR

Les moteurs sont des moteurs asynchrones synchronisés ou des moteurs à hysteresis. Garrard emploie une formule un peu plus complexe. Pour obtenir des fonctionnements très silencieux, les constructeurs s'acharnent à fabriquer des moteurs à faible vitesse. Au lieu des moteurs 3.000 tours-minute qu'on trouve fréquemment dans les appareils bon marché, on rencontre des moteurs avec des vitesses de 750 tours/minute. De plus, ces moteurs sont excessivement bien suspendus.

La démultiplication nécessaire pour entraîner le plateau à sa vitesse en est d'autant réduite. Les galets intermédiaires rencontrent donc des poulies moteurs à étage avec des diamètres beaucoup plus grands. En principe, les galets intermédiaires sont débrayés à l'arrêt et entre chaque enclenchement de vitesse. On peut donc dire que les galets intermédiaires dureront très longtemps sans être remplacés.

LES PLATEAUX

Les plateaux ont fait l'objet de soins particuliers des constructeurs. Ils sont généralement fabriqués avec deux plateaux superposés. Un plateau tôle et un plateau en aluminium fondu sous pression. Le plateau tôle, relativement léger sert à l'entraînement et aussi d'écran pour les courants magnétiques parasites issus du moteur. Il ne faut en aucun cas que ces courants parasites puissent venir induire les cellules phonocaptrices magnétiques qui équipent les tourne-disques automatiques de luxe, même si le luxe est relativement bon marché, il faut tout de même dire que, par les soins apportés dans la fabrication et la richesse des études, ces appareils sont des appareils de luxe.

DISPOSITIFS SUPPORT DE DISQUE

Tous les tourne-disques automatiques dont nous venons de parler peuvent fonctionner en

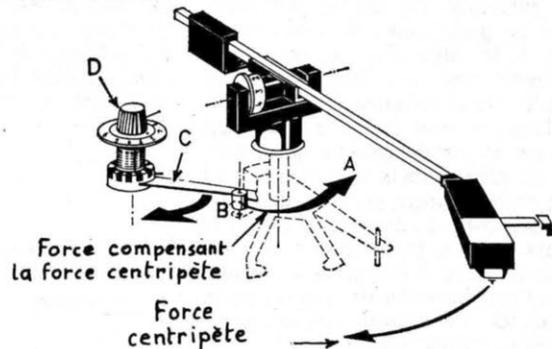


Fig. 16 — Détail du dispositif anti-skating Elac. Dans le tourne-disque Miracord 50, la force centripète est contrebalancée par un ressort spiral agissant sur l'axe B lié au bras, par l'intermédiaire du levier C.

tourne-disques simples en plaçant au centre du plateau un axe normal au lieu de l'axe porte disque.

L'axe porte-disque vient dans tous les cas s'enclencher dans un alvéole prévu au centre du support du plateau. La figure 10, nous montre comment cet enclenchement se fait dans un cas particulier et nous fait surtout voir que quel que soit le nombre de disques placés sur le support, le plateau n'est aucunement affecté.

Dans la solution Garrard décrite dans la figure 11, on voit nettement que la bague en métal antifriction emmanchée dans le plateau vient tourner sur un manchon en acier fixé sur la platine, le dispositif porte disque passe au centre et n'a aucun contact avec le plateau.

La figure 11 montre en coupe un système de descente de disque ne comportant qu'un ergot. Mais les photographies d'autres tourne-disques

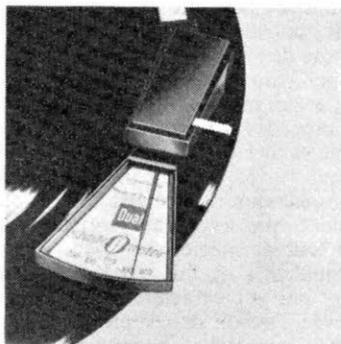


Fig. 15 — DUAL 1019 : Dispositif de mesure de l'équilibrage anti-skating.

montrent que cette pièce peut comporter 3 ergots. Comme ils fonctionnent aussi bien les uns que les autres, nous n'avons pas à prendre parti. Il faut cependant avouer que les systèmes à un ergot exigent, étant donné le déséquilibre des disques, une pièce venant supporter ces derniers sur l'extérieur (solution Garrard) ou un bras, bien désagréable d'ailleurs, maintenant les disques à plat (Garrard 60 et B.S.R.). Dans les tourne-disques automatiques Garrard ce support est escamotable lors du fonctionnement en tourne-disques normal.

On voit très bien cette pièce sur la figure 2, représentant la platine Garrard SL95 à la gauche du pivot à la cardan.

Au contraire, si le support de disque comporte trois ergots, il n'y a aucune nécessité d'avoir un dispositif équilibreur de disque, cela explique l'absence du compensateur sur certaines platines.

DISPOSITIFS ACCESSOIRES

Toutes ces platines sont munies de dispositifs permettant l'éjection d'un disque et son remplacement par un autre, et très souvent de dispositifs permettant la répétition d'un disque. Les manettes de changement de vitesse sont quelquefois remplacées par des boutons poussoir. (« Miracord 610 et 630 »). Tout cela contribue à rendre très agréable le maniement de ces tourne-disques automatiques.

CONCLUSION

On pourrait penser que munis de tous ces dispositifs et étant donné leurs qualités propres, les tourne-disques simples sont condamnés. Il n'en est rien. Les amateurs de haute fidélité sont devenus encore plus difficiles et leurs exigences sont telles qu'elles sont difficilement compatibles avec des productions en grande série qui seules permettent de livrer des appareils de la classe des tourne-disques que nous venons de décrire à des prix raisonnables.

La précision exigée est encore plus grande, les taux de pleurage et de scintillement doivent être plus bas, les bras doivent avoir une compliance plus grande encore aussi bien dans le sens vertical que dans le sens latéral, etc.

Mais, Monsieur tout le monde sera enchanté de la haute qualité que donnent tous les tourne-disques automatiques que nous avons signalés.

On pourrait nous reprocher d'avoir passé sous silence un point important qui est celui de l'angle d'attaque de la pointe sur le disque en fonction du nombre de disques en place sur le plateau. Cela ne nous a pas échappé, mais si conventionnellement l'angle adopté est de 15° C, il n'est pas absolument obligatoire. D'ailleurs le calcul montre que si le réglage est fait correctement pour le troisième disque, l'écart angulaire entre le premier disque et le sixième est infinie étant donné la longueur du bras.